

Merenkulkulaitoksen julkaisuja 2/2004

Suomen talvimerenkulun kehittäminen

Jäänmurtajatarpeen simulointityökalu



Helsinki 2004
ISBN 951-49-2086-4
ISSN 1456-7814

Suomen talvimerenkulun kehittäminen

Jäänmurtajatarpeen simulointityökalu



Helsinki 2004
ISSN 1456-7814
ISBN 951-49-2086-4



08 MKL

9597

Tekijät (toimielimestä: toimielimen nimi, puheenjohtaja, sihteeri) Arto Nokelainen, VTT		Julkaisun laji Merenkulkulaitoksen julkaisuja	
Pekka Salmi, Kvaerner Masa-Yards Arctic Technology		Toimeksiantaja Merenkulkulaitos	
Reko-Antti Suojanen, Kvaerner Masa-Yards Arctic Tech.		Toimielimen asettamispäivämäärä	
Julkaisun nimi Suomen talvimerenkulun kehittäminen, Jäänmurtajatarpeen simulointityökalu			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tutkimuksessa on tehty Suomen talvimeriliikennettä kuvaava <i>simulointimalli, jota voidaan käyttää strategisena työkaluna</i> erityisesti talvimerenkulun kehittämisen tarpeisiin. Mallinnus on jakautunut kolmeen operoinnin pääalueita noudattavaan osaan: Perämeren malli, Selkämeren malli ja Suomenlahden malli. Malleilla on simuloitu merikuljetuksia sekä leutona, keskimääräisenä että ankarana talvena. Vaihtoehtotarkasteluja on tehty varioimalla jäänmurtajien lukumäärää, avustusnopeutta, liikenteen kasvua, satamien määrää ja itsenäiseen jäissäkulkuun kykenevää aluskapasiteettia. Liikenteen simulointimallien avulla saadut tulokset ovat osoittautuneet varsin tarkoiksi ja yhtäpitäviksi referenssitilasta käytettävissä olevien tilastoitujen tietojen kanssa.</p> <p>Perämeren tapauksessa simuloinnit keskimääräisenä ja kovana talvena osoittavat huomattavasti suuremman jäänmurto- ja avustustarpeen kuin toteutui referenssitilvena 2000-01, joka oli leuto. Voidaan ennustaa, että palvelutason mittarina käytettyä kauppalaivan keskimääräistä odotusaikaa ei voida kaikissa tapauksissa pystyä pitämään tavoitteen mukaisessa alle 4 tunnissa keskimääräisenäkään talvena kuin kuudella murtajalla.</p> <p>Tämän tutkimuksen puitteissa samanaikainen tarkastelu Perämeren, Selkämeren ja Suomenlahden alueella voitiin suorittaa kovan talven eli talven 1986-87 kohdalta. Tarkasteltiin yhdeksän jäänmurtajamme sijoittelua tilanteeseen, joka noudattaa talven 2000-01 mukaista liikennettä talven 1986-87 kaltaisissa olosuhteissa. Esimerkki, kun sijoitetaan murtajista kolme Suomenlahdelle, kaksi Selkämerelle ja neljä Perämerelle, osoittaa, että palvelutaso on riittämätön: keskimääräinen laivakohtainen odotusaika on Selkämerellä 17 t ja Perämerellä 13 t. Vaikka tilanteessa yksi jäänmurtaja siirrettäisiin Suomenlahdella Selkämerelle, jolloin keskimääräinen odotusaika myös Suomenlahdellakin nousee yli 4 tuntiin, alenee Selkämeren odotusaika vain 9 tuntiin ja säilyy Perämerellä 13 tuntina.</p> <p>Simulointiajot osoittavat, että avustusnopeudella on suuri merkitys odotusaikoihin, tai vastaavasti tarvittavien murtajien lukumäärään. Perämerellä avustusnopeuden laskeminen 11 solmusta 9 solmuun kaksinkertaistaa laivoille kertyvän odotusajan. Simuloimalla arvioitiin kehitystä Perämerellä kasvattamalla laivaliikennettä 10 % nykyisestä. Tämä lisää selvästi tarvittavaa avustusta ja vastaa lähes yhden murtajan lisätarvetta keskimääräisenä talvena.</p> <p>Esimerkkikokeiluna tutkittu itsenäisesti kulkevan alustyyppin vaihtaminen Raahe-Luulaja välille osoitti Perämerellä 5 murtajan tapauksessa noin kahden tunnin vähennystä keskimääräisen talven laivakäyntikohtaiseen odotusaikaan. Se vastaa noin yhden jäänmurtajan vähennysmahdollisuutta.</p> <p>Perämeren tapauksessa laivakohtainen odotusaika kasvoi 0,5 tuntia, kun simulointiin lisättiin yksi satama, johon talviaikana oli 57 laivakäyntiä.</p> <p>Työssä kehitetty strateginen työkalu antaa mahdollisuuden selvittää jäänmurtotoimintaan vaikuttavia tekijöitä. Näin voidaan helpottaa päätöksentekoa ja valita suuntaviivoja mihin infrastruktuuria kannattaa kehittää.</p>			
Avainsanat (asiasanat) Jäänmurtajatarve, talvimerenkulku, talvimerenkulun avustaminen, jäänmurto, meriliikenne, simulointi			
Muut tiedot			
Sarjan nimi ja numero Merenkulkulaitoksen julkaisuja 2/2004		ISSN 1456-7814	ISBN 951-49-2086-4
Kokonaissivumäärä 72	Kieli suomi	Hinta	Luottamuksellisuus
Jakaja		Kustantaja	

TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa on tehty Suomen talvimeriliikennettä kuvaava *simulointimalli*, jota voidaan käyttää *strategisena työkaluna* erityisesti talvimerenkulun kehittämisen tarpeisiin. Mallinnus on jakautunut kolmeen operoinnin pääalueita noudattavaan osaan: Perämeren malli, Selkämeren malli ja Suomenlahden malli.

Tutkimusmenetelmä on toteutettu kahdessa vaiheessa. *Ensimmäisessä vaiheessa* on selvitetty *nykytilanteen* laivaliikennefrekvenssit, väylät, tyyppilaivat, nopeudet eri jääoloissa ja avustustoiminnan pääpiirteet. *Toisessa vaiheessa* on rakennettu talviliikennettä kuvaavat tapahtumapohjaiset *liikenteen simulointimallit*, jotka käyttävät syötteenä ensimmäisestä osasta saatavaa tietoa. Näillä on simuloitu merikuljetuksia sekä leutona, keskimääräisenä että ankarana talvena. Vaihtoehtotarkasteluja on tehty varioimalla jäänmurtajien lukumäärää, avustusnopeutta, liikenteen kasvua, satamien määrää ja itsenäiseen jäissäkulkuun kykenevää aluskapasiteettia.

Liikenteen simulointimallien avulla saadut tulokset ovat osoittautuneet varsin tarkoiksi ja yhtäpitäviksi referenssitalvista käytettävissä olevien tilastoitujen tietojen kanssa.

Perämeren tapauksessa simuloinnit keskimääräisenä ja kovana talvena osoittavat huomattavasti suuremman jäänmurto- ja avustustarpeen kuin toteutui referenssitalvena 2000-01, joka oli leuto. Voidaan ennustaa, että palvelutason mittarina käytettyä kauppalaivan keskimääräistä odotusaikaa ei voida kaikissa tapauksissa pystyä pitämään tavoitteen mukaisessa alle 4 tunnissa keskimääräisenäkään talvena kuin kuudella murtajalla.

Tämän tutkimuksen puitteissa samanaikainen tarkastelu Perämeren, Selkämeren ja Suomenlahden alueella voitiin suorittaa kovan talven eli talven 1986-87 kohdalla. Tarkasteltiin yhdeksän jäänmurtajamme sijoittelua tilanteeseen, joka noudattaa talven 2000-01 mukaista liikennettä talven 1986-87 kaltaisissa olosuhteissa. Esimerkki, kun sijoitetaan murtajista kolme Suomenlahdelle, kaksi Selkämerelle ja neljä Perämerelle, osoittaa, että palvelutaso on riittämätön: keskimääräinen laivakohtainen odotusaika on Selkämerellä 17 t ja Perämerellä 13 t. Vaikka tilanteessa yksi jäänmurtaja siirrettäisiin Suomenlahdelta Selkämerelle, jolloin keskimääräinen odotusaika myös Suomenlahdellakin nousee yli 4 tuntiin, alenee Selkämeren odotusaika vain 9 tuntiin ja säilyy Perämerellä 13 tuntina.

Simulointiajot osoittavat, että avustusnopeudella on suuri merkitys odotusaikoihin, tai vastaavasti tarvittavien murtajien lukumäärään. Perämerellä avustusnopeuden laskeminen 11 solmista 9 solmuun kaksinkertaistaa laivoille kertyvän odotusajan.

Simuloimalla arvioitiin kehitystä Perämerellä kasvattamalla laivaliikennettä 10 % nykyisestä. Tämä lisää selvästi tarvittavaa avustusta ja vastaa lähes yhden murtajan lisätarvetta keskimääräisenä talvena.

Esimerkkikokeiluna tutkittu itsenäisesti kulkevan alustyyppin vaihtaminen Raahe-Luulaja välille osoitti Perämerellä 5 murtajan tapauksessa noin kahden tunnin vähennystä keskimääräisen talven laivakäyntikohtaiseen odotusaikaan. Se vastaa noin yhden jäänmurtajan vähennysmahdollisuutta.

Perämeren tapauksessa laivakohtainen odotusaika kasvoi 0,5 tuntia, kun simulointiin lisättiin yksi satama, johon talviaikana oli 57 laivakäyntiä.

Työssä kehitetty strateginen työkalu antaa mahdollisuuden selvittää jäänmurtotoimintaan vaikuttavia tekijöitä. Näin voidaan helpottaa päätöksentekoa ja valita suuntaviivoja mihin infrastruktuuria kannattaa kehittää.

ALKUSANAT

Raportti käsittelee Suomen talvimerenkulun kehittämistä. Työssä on keskitytty Perämeren ja Merenkurkun, Selkämeren ja Suomenlahden talviaikaisen liikenteen mallintamiseen tavoitteena jäänmurtotarpeen selvittäminen keskeisten liikenneolojen muuttuessa.

Työn on tilannut Merenkululaitos. Hanketta on valvonut ja ohjannut johtoryhmä, johon ovat Merenkululaitoksesta kuuluneet talvimerenkulun avustamisen johtaja Ilmari Aro sekä nykyisen Varustamoliikelaitoksen toimitusjohtaja Markku Mylly ja meriliikenteen ohjauksen johtaja Matti Aaltonen. Tutkimus on tehty yhteistyössä VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan ja Kvaerner Masa-Yards Arctic Technologyn kanssa siten, että Kvaerner Masa-Yards on vastannut alustekniikkaan ja VTT liikenteen simulointimalliin liittyvistä kohdista.

Tämän raportin ovat laatineet Arto Nokelainen VTT:stä, Reko-Antti Suojanen ja Pekka Salmi Kvaerner Masa-Yards Oy:stä.

TIIVISTELMÄ	2
ALKUSANAT	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
1 Johdanto	6
1.1 Tausta	6
1.2 Tutkimusmenetelmä	6
1.3 Käsitteitä	7
2 Kuvaus simuloinneista	8
2.1 Yleistä	8
2.2 Laivojen kulkukyky	8
2.3 Jääolosuhteiden määrittäminen	9
2.4 Liikenteen luokittelu ja muodostaminen	10
2.5 Avustustoiminnan periaate	10
2.6 Laivaliikenteen simulointimallit	11
3 Tulokset	14
3.1 Yleistä	14
3.2 Perämeri	14
3.2.1 Yleistä	14
3.2.2 Leuto talvi 2000-2001, referenssitapaus	15
3.2.3 Keskimääräinen talvi	16
3.2.4 Kova talvi	17
3.2.5 Jäänmurtajien lukumäärän vaikutus	18
3.2.6 Avustusnopeuden vaikutus	21
3.2.7 Liikennemäärän kasvun vaikutus	22
3.2.8 Tehokkaampien alusten vaikutus	23
3.2.9 Satamien lukumäärän vaikutus	24
3.2.10 Yhteenveto	25
3.3 Selkämeri	26
3.3.1 Yleistä	26
3.3.2 Jäätalvi 2002-2003	26
3.3.3 Jäätalvi 1986-1987	32
3.3.4 Yhteenveto	37
3.4 Suomenlahti	38
3.4.1 Yleistä	38
3.4.2 Jäätalvi 2002-2003	38
3.4.3 Jäätalvi 1986-1987	43
3.4.4 Avustusaika ja tyyppilaiva	48
3.4.5 Yhteenveto	50
3.5 Yhteenveto Perämeren, Selkämeren ja Suomenlahden malleista	51
4 Johtopäätökset	52
LÄHDELUETTELO	54
LIITTEET	

1 Johdanto

1.1 Tausta

Tutkimuksessa laaditaan Suomen meriliikennettä kuvaava ja simulointiin perustuva mallinnus erityisesti talvimerenkulun kehittämisen tarpeisiin. Mallinnus jakautuu kolmeen operoinnin pääalueita noudattavaan osaan: Perämeren malli, Selkämeren malli ja Suomenlahden malli.

Luomalla nykyisen liikenteen mukaiseen tilanteeseen ja toimintatapaan perustuvat simulointimallit voidaan tehdä vertailuja varioimalla haluttuja muuttujia, kuten jäänmurtajien ja kauppalaivojen lukumäärää ja suorituskkyä, jääolosuhteita, tai edelleen esimerkiksi materiaalivirtojen muutoksia ja niiden kohdentumista eri satamille. Merikuljetuksien luonteen vuoksi oikeaa mitoitusta on käytännössä mahdoton testata todellisissa olosuhteissa. Eri vaihtoehtojen käyttökelpoisuudesta voidaan kuitenkin saada tietoa simulointitekniikkaa hyödyntämällä. Vaihtoehtojen vaikutusta on tällöin mahdollista kokeilla simuloinnilla laboratorio-oloissa ilman taloudellisia riskejä.

Suomen ulkomaankaupassa talviolot vaikeuttavat meriliikennettä ja talviliikenteen sujuminen pyritään varmistamaan yhdistämällä valtiollinen jäänmurtaja-avustus ja liikennerajoitukset. Ulkomaankaupan merikuljetukset ovat sidotut tiukkoihin aikatauluvaatimuksiin. Jääolosuhteissa avustusta tarvittaessa ne vaativat 9-10 solmun avustusnopeuden, jotta säännöllisiä laivavuoroja ei jäisi ajamatta. Käytännössä järjestelmä toimii siten, että talven edetessä kuhunkin talvisatamaan avustetaan vain ennalta ilmoitetun jääluokan omaavia aluksia. Toisin sanoen, liikenteen sujuminen varmistetaan käyttämällä sekä jäänmurtajia että erityisesti jäissä kulkuun soveltuvaa lujaudeltaan ja teholtään suomalais-ruotsalaisen jääsääntövaatimusten mukaista aluskantaa.

Talviolosuhteiden aiheuttamaa liikenteen epävarmuutta voidaan minimoida lisäämällä joko jäänmurtajakapasiteettia tai aluskannan jäissä kulkukykä. Kehittyneen alustekniikan etu on, että kapasiteetti on hyödynnettävissä läpi vuoden. Jäänmurtajien ympärivuotisen käytön hyöty jää joka tapauksessa tähän verrattuna vähäiseksi, vaikka ”monitoimimurtajien” osuus kasvaisikin. Täten jäänmurtajakapasiteetin tarvetta arvioitaessa ja suunniteltaessa on perusteltua tarkastella vaihtoehtojen ratkaisujen soveltuvuutta taloudellisten ja myös ympäristöllisten etujen saavuttamiseksi.

Ulkomaankaupan toimivuus on joka tapauksessa turvattava myös poikkeuksellisen ankarina talvina yleisesti hyväksytyjen kansantaloudellisten etujen vuoksi.

1.2 Tutkimusmenetelmä

Tutkimus on jakautunut rakenteellisesti kahteen osaan. *Ensimmäisessä osassa* on selvitetty nykytilanteen liikennefrekvenssit, väyläverkosto, aluskanta, nopeudet ja avustustoiminnan pääpiirteet. Laivateknisellä puolella on simuloinnilla selvitetty laivojen kulkukyky eri jääoloissa ja väyläosilla. Laivojen itsenäinen kulkukyky on mallinnettu eri ajankohtina ja eri jäätalvina. Jäätietojen määrittelyyn on käytetty MTL:n jääkarttoja [1], joissa jääolosuhteiden dynamiikka tulee paremmin huomioiduksi kuin jos käytettäisiin puhtaasti pitkänajan tilastoihin perustuvia keskiarvoja.

Toisessa osassa on rakennettu talviliikennettä kuvaavat kolme (Perämeri, Selkämeri ja Suomenlahti) tapahtumapohjaista *liikenteen simulointimallia*, jotka käyttävät syötteenä ensimmäisestä osasta saatavaa tietoa. Merikuljetuksia on näin simuloitu erilaisissa talviolosuhteissa. Vaihtoehtotarkasteluja on tehty varioimalla jäänmurtajien lukumäärää, avustusnopeutta, liikenteen kasvua, itsenäiseen jäissä kulkuun kykenevää aluskapasiteettia ja satamien lukumäärää.

Liikenteen simulointimallit antavat mahdollisuuden tarkastella myös muiden tekijöiden vaikutusta koko laivakuljetuksiin ja jäänmurtotoimintaan. Toisin sanoen voidaan esimerkiksi tutkia mitä vaikuttaisivat laivojen kulkukyky, koko, nopeusrajoitukset, jne. Saavutetut tulokset voidaan esittää kustannusmuutoksina, joita voidaan saavuttaa joko jäänmurtajalaivaston tai avustettavien laivojen kapasiteettiin tai käyttöön liittyvinä säästöinä.

1.3 Käsitteitä

Seuraavassa on määritelty tässä tutkimuksessa käytettyjä keskeisiä käsitteitä.

- aikajakso tai periodi Liikenteen simulointimallissa käytettävä 10 päivän ajan jakso
- aluskanta Kaikki talven aikana Suomen satamiin liikennöineet laivat.
- avustusraja Nopeus, jossa laivan kulku jääoloissa pysähtyy ja se tarvitsee murtaja-avustusta.
- avustusnopeus Nopeus, jolla murtaja avustaa laivaa.
- laivan avustusaika Aika, jonka laiva on 1-suuntaisella käynnillä tarvinnut murtaja-avustusta.
- murtajan avustusaika Aika, jonka murtaja on antanut avustusta koko talvikaudella.
- odotusaika Laivan 1-suuntaisen käynnin odotusaika, kun se odottaa jäänmurtaja-avustusta.
- puristuspäivä Simuloinnissa satunnainen päivä, jolloin jäät puristuvat väyläosalla ja pienentävät laivan nopeutta.
- satama-aika Laivan satamassa purkaukseen ja lastaukseen tarvitsema aika.
- simulointimalli Simuloidaan laivojen kulkua (omin avuin, odotus, avustus) väyläverkolla ja käyntejä satamissa 1.11.-30.4. välisenä aikana.
- tyyppilaiva Aluskanta on ryhmitelty 33 tyyppilaivaan, joilla kullakin on omat tekniset ominaisuutensa.
- väyläverkosto Muodostuu olemassa olevista laivaväylistä ja talvisatamista
- väyläosa Väyläverkoston osa, johon mm. liittyy 10 päivän ajanjaksoina tiedot jääolosuhteista ja tyyppilaivan nopeudesta.
- 1-suuntainen matka Satamassa käyvän laivan yhteen suuntaan kulkema matka.
- 2-suuntainen matka Satamassa käyvän laivan edestakaisin kulkema matka.

2 Kuvaus simuloinneista

2.1 Yleistä

Tarkoituksena oli selvittää Suomen talviliikenteen koko toiminta liikennerajoituksineen ja jäänmurtoavustuksineen sekä kehittää tätä kuvaava simulointimalli. Johtuen merialueemme muodosta ja jäänmurtokäytännön tavasta operoida, päätettiin merialue käsitellä kolmessa erillisessä osassa, jotka voidaan myös olettaa jäänmurtajien toiminnan kannalta toisistaan lähes riippumattomiksi. Tämän vuoksi mallinnus jaettiin kolmeen osaan: Perämeren, Selkämeren ja Suomenlahden simulointimalleihin. Ne tehtiin eri vaiheissa ja toisistaan erillisinä.

Pääpiirteissään mallinnus tapahtui siten, että ensin laadittiin väyläverkosto, jota pitkin simuloitavat laivat kulkevat. Väyläverkosto käsittää olemassa olevat laivaväylät ja talvisatamat, joihin alukset liikennöivät. Lisäksi verkostoon on laadittu jäissäkulun kannalta merkityksellisiä solmupisteitä ja väyläosia, joiden ei tarvitse olla väylien risteyskohtia tai mutkakohtia. Varsinkin avomeren alueella on simuloinnissa käytetty väyläosia, jotka noudattavat parhaiten käytännön reittivalintoja. Liitteessä 1 on esitetty kartat kunkin merialueen väyläverkostosta reittipisteineen, väyläosineen ja satamineen.

Kun väyläverkosto oli laadittu, selvitettiin kullakin väyläosalla olevat jääolosuhteet. Olosuhteet määritettiin talven eri aikoina 10 vuorokauden periodeina.

Seuraavaksi määritettiin tyyppilaivat, jotka valittiin simulointiin edustamaan koko aluskantaa. Tässä tutkimuksessa valittiin MKL:n toimittamien tilastojen [1, 2] perusteella 36 laivatyyppiä, jotka parhaiten edustavat jäissäkulun kannalta keskeisiä (oikeita) parametreja.

Jokaiselle tyyppilaivalle määritettiin tekniset parametrit, joiden avulla voitiin laskea laivan suorituskky sekä avovedessä että eri väyläosilla olevissa jääolosuhteissa. Näin voitiin määrittää laivan keskinopeus kaikkina ajanjaksoina.

Asettamalla alaraja laivojen keskinopeudelle jääajossa, voidaan määritellä milloin laiva käyttää avustusta. Kun tämä tieto yhdistetään laivaliikenteen simulointimalliin laivojen liikkua väyläosilla voidaan ne ”kytkä” valitulla nopeudella tapahtuvaan jäänmurtaja-avustukseen.

Riippuen avustukseen käytettävissä olevien jäänmurtajien lukumäärästä saadaan lopputuloksena lasketuksi esim. tarvittu avustus- ja odotusajat sekä kokonaisuutena että laivakäyntikohtaisesti suunnittain.

2.2 Laivojen kulkukykymalli

Kvaerner Masa-Yards/MARC:ssa kehitetyn ohjelmiston avulla voidaan laskea laivan kulkukykyä jäissä. Tällöin huomioidaan tasainen jää, jään peittoisuus, rännijää ja ahtojäävallit. Suurin osa matemaattisista malleista on yleisesti julkaistu alan kirjallisuudessa, mutta osa malleista on edelleen kehitetty MARC:ssa vastaamaan paremmin täysmittakaavassa tehtyjä mittauksia. Mallissa ovat mukana myös laivan avoveden suorituskvyn laskenta ja potkurin työntölaskenta mukaan lukien jään vuorovaikutuksen aiheuttama työntön aleneminen.

Käyttämällä edellä mainittuja vastuslaskentamalleja voidaan aika-askel -simuloinnilla mallintaa yksittäisen laivan eteneminen jääkentässä, jossa jään ominaisuudet voivat vaihdella matkan edetessä. Yksinkertaistaen asia voidaan esittää kaavan 1 avulla, jossa voidaan ratkaista kiihtyvyys ja sitä kautta nopeus ajan funktiona

$$F_{\text{inertia}} = M \cdot a = T_{\text{net}} - R_{\text{ow}} - R_{\text{level}} - R_{\text{channel}} - R_{\text{ridge}} \quad (1)$$

jossa eri tekijät ovat:

- T_{net} Propulsiosysteemin aikaansaama nettotyöntö. Tässä on huomioitu työnnön vähennys, vanavesikerroin ja jään aiheuttama työnnön väheneminen.
- R_{ow} Laivan vastus avovedessä. Lasketaan tunnetulla Holtrop menetelmällä.
- R_{level} Laivan tasaisen jään vastus. Lasketaan Poznyak and Ionov menetelmällä.
- R_{channel} Laivan vastus jääränissä. Tässä työssä käytettiin suomalais-ruotsalaisen jääsäännön perustana olevaa menetelmää.
- R_{ridge} Laivan vastus jäävalleissa. Perustuu Malmberg'in menetelmään MARC:in lisäyksillä ja korjauksilla.

Kaikki edellä mainitut laskentamenetelmät vaativat tietoa tarkasteltavan laivan ominaisuuksista. Menetelmät on kehitetty suunnittelijoita varten ja tarvittavat tiedot ovat hyvin yksityiskohtaisia. Parametreja on yhteensä 45 kpl. Tässä työssä ei ollut mahdollista saada kaikista laivatyypeistä täydellisiä tietoja. MKL:n alusrekisteristä haettiin siellä listatut tiedot ja loput tuntemattomat parametrit arvioitiin.

2.3 Jääolosuhteiden määrittäminen

Kun laivojen kulku halutaan laskea kullakin reitillä, tulee tietää reitin jääolosuhteet. Työssä piti määrittää jääolosuhteet yli koko talven. Talvi jaettiin 22 aikajaksoon. Jokaisen pituus oli 10 vuorokautta.

Jääolosuhteet määritettiin MTL:n jääkarttojen [3] ja muiden lähteiden [4] perusteella niille talville, jotka valittiin tutkimukseen. Jääkarttojen käyttö jääolosuhteiden tekemiseen on todettu käytäntöön hyvin soveltuvaksi menetelmäksi, koska silloin myös jään dynamiikka tulee huomioituksi, esimerkiksi tuulten aiheuttamat railot, ahtaumat ja avovesialueet tulevat huomioituiksi.

Kullekin väyläosalle määritettiin seuraavat parametrit jokaiselle aikajaksolle:

- jään paksuus (cm),
- jään peittoisuus (%),
- valliintumisaste:
 - vallien lukumäärä kilometriä kohti,
 - vallien keskimääräinen paksuus,
- jään taivutuslujuus (MPa),
- rännin paksuus (cm).

Liitteessä 2/1 on esitetty esimerkkinä yhden väyläosan jääprofiili.

2.4 Liikenteen luokittelu ja muodostaminen

Koska Suomeen liikennöiviä laivoja on satoja, laadittiin luokittelumenetelmä, jolla laivat jaotellaan vastaamaan simuloinnissa käytettäviä tyyppilaivoja. Luokittelun perusteina käytettiin laivan jäissä kulkukyvyn kannalta olennaisia tekijöitä. Tekijöiksi valittiin jääluokka, propulsioteho, leveys ja kantavuus.

Tutkimuksessa aluskanta jaettiin 35 tyyppilaivaan. Tyypit edustavat riittävän hyvin kaikkia Suomeen talviaikana liikennöiviä aluksia.

Luokittelussa noudatetaan tiukasti jääluokkaa eli valitun tyyppilaivan jääluokan tulee olla sama kuin toteutuneessa tilastossa. Tehon, leveyden ja kantavuuden osalta sovellettiin ns. dimensiotonta lähimmän pisteen menetelmää. Ratkaisu haettiin kaavan 2 antamalla menetelmällä:

$$\text{MIN} = \text{SQRT} ((P_i - P)^2 + (D_i - D)^2 + (B_i - B)^2)_{i=1:35} \quad (2)$$

Tämä antaa tulokseksi tyyppilaivan indeksin i , joka parhaiten kuvaa todellista laivaa.

Kyseistä menetelmää soveltamalla voitiin tilastojen purku hoitaa ohjelmallisesti ja tuloksena saatiin liikenteen simulointimallin vaatima syöttötiedosto tuhansine laivakäynteineen. Laivakäynnin tapahtumaan liittyy tieto laivan tuloajasta mallin sisään tulopisteeseen, laivan tyyppistä ja määräsa- tamasta. Koska simulointijakso tässä tutkimuksessa oli koko talvi, marraskuun alusta toukokuun loppuun, tarvitsi malliin syöttää varsin suuri määrä laivakäyntejä. Laivakäyntien lukumäärä otettiin vuoden 2000-01 satamakohtaisista tilastoista. Tutkimuksessa esitetyt tulokset vastaavat siis kyseisen talven mukaista liikennetiheyttä. Taulukossa 1 on esitetty eri merialueiden laivakäyntien tilastoarvot.

Taulukko 1. Satamakäynnit eri merialueilla ajalla 1.11.2000-31.5.2001

<i>Merialue</i>	<i>Linjaliikenne</i>	<i>Muu</i>	<i>Yhteensä</i>
Perämeri	558	2 136	2 694
Selkämeri	1 240	3 225	4 465
Suomenlahti	1 953	5 673	7 626

Liitteessä 3 on esitetty histogrammit laivaliikenteestä ja valittujen tyyppilaivojen histogrammi vertailuksi näyttämään kuinka hyvin valitut tyypit vastaavat todellista laivatilastoa.

2.5 Avustustoiminnan periaate

Kohdassa 2.2 esitetty aluksen jäävastusmenetelmä ei kykene huomioimaan laivan suorituskykyä jäänmurtajan avustamana. Tästä johtuen mallissa käytettiin sovittua nopeutta jäänmurtajan avustaessa kauppa-alusta.

Referenssitapauksissa arvot otettiin toteutuneista keskimääräisistä arvoista eri merialueen malleille. Tätä arvoa voidaan simuloinnissa muuttaa ja sitä voidaan käyttää selvittämään avustusnopeuden vaikutusta kokonaistilanteeseen.

Taulukossa 2 on esitetty toteutuneet avustusnopeudet, joita on myös käytetty simulointimalleissa.

Taulukko 2. Toteutuneet avustusnopeudet referenssitalvina eri merialueilla.

<i>Merialue</i>	<i>Referenssitalvi</i>	<i>Arvo solmuissa</i>
Perämeri	2000-01	10,8
Selkämeri	2002-03	8,8
Suomenlahti	2002-03	8,2

2.6 Laivaliikenteen simulointimallit

Simulointia varten on rakennettu kolme tapahtumapohjaista mallia talvimerenkulun tarpeisiin: erikseen Perämerelle, Selkämerelle ja Suomenlahdelle. Kukin malli perustuu talviaikaiseen meriväylä- ja satamaverkkoon ja sillä tapahtuvaan laivaliikenteeseen.

Mallinnusprosessi jakautui seuraaviin osiin:

- työn tarkka formulointi ja rajaaminen,
- mallin rakentaminen,
- datan hankinta (KMY:n simulointitulokset, väyläverkosto),
- mallin käänös,
- verifiointi ja validisointi (referenssitalven tulosten vertailu MKL:n toteutuneisiin arvoihin),
- ajovaihtoehtojen määrittely ja simulointiajot,
- tulosten analysointi ja raportointi.

Perämeren liikenteen simuloinnissa aluskanta jakautuu 22 tyyppilaivaan, kun Selkämeren ja Suomenlahden tapauksissa oli tyyppilaivoja 33 kpl. Simulointiperiodina on sovellettu marraskuun alun ja toukokuun lopun välistä aikaa. Kunkin kolmen mallin referenssitason tulokset perustuvat tuona aikana tapahtuneisiin todellisiin satamissa käynteihin. Simuloinnissa on vaihdeltu mm. jäänmurtaajien lukumäärää, jääoloja, laivojen kulkukykyominaisuuksia ja talvisatamien määrää.

Mallissa kuljetustapahtumana on käytetty laivan edestakaista matkaa (laivakäynti) suomalaisiin talvisatamiin. Mallissa on lisäksi huomioitu säännöllinen poikittaisliikenne Vaasan ja Uumajan sekä Raahen ja Luulajan välillä (Perämeren malli), Turun ja Tukholman välillä (Selkämeren malli) ja Helsingin ja Tukholman/Tallinnan välillä (Suomenlahden malli).

Perämeren simulointimallin kaavio on kuvattu liitteessä 4. Malli pohjautuu Perämeren meriväylästä muodostettuihin väyläosiin (kts. liite 1/6), ja satamiin suuntautuviin aluskäynteihin. Kahdeksan suomalaisen talvisataman lisäksi malliin on sisällytetty Kalajoen Rahjan satama, jonne myös avustettiin liikennettä leutona referenssitalvena 2000-01. Simulointiperiodina käytettynä aikana referenssimalliin sisältyi 2159 laivakäyntiä sekä lisäksi päivittäinen poikittaisliikenne Vaasasta ja Raahesta.

Selkämeren ja Suomenlahden simulointimallien kaaviot ovat analogisia Perämeren mallin kanssa ja pohjautuvat Selkämeren ja Suomenlahden meriväylästä muodostettuihin väyläosiin (kts. liite 1/4 ja 1/5), ja satamiin suuntautuviin aluskäynteihin. Liikenteen simulointimallien toimintaperiaate on pääosin seuraava:

Kauppalaivat saapuvat sisääntulopisteeseen syöttötietona annetun aikajakauman mukaisesti. Laiva etenee väyläosa kerrallaan kohti määräsatamaa. Väyläosalla laivan nopeus riippuu

laivan tyypistä ja jääoloista eri ajanjaksoina. Mikäli laivan kulkukyky alittaa kriittisen rajan laiva jää väyläosan alkuun odottamaan jäänmurtaja-apua. Kun murtaja-apua on saatavilla, laiva etenee avustettuna väyläosan loppuun (samoin mahdolliset muut laivat, jotka olivat ko. väyläosan alussa odottamassa murtaja-apua). Jos murtaja-avustusta ei enää seuraavalla väyläosalla tarvita, laiva jatkaa omin avuin kohti määräsatamaa, muuten murtaja-avustus jatkuu, ja samalla avustetaan lisäksi myös matkan varrella mahdollisesti muut murtaja-avustusta odottavat kauppalaivat. Jos avustettava laiva ei enää seuraavalla väyläosalla tarvitse avustusta, vapautetaan murtaja. Murtaja otetaan heti uudelleen käyttöön jos kyseissä väyläosien risteyksessä on avustusta odottava laiva, muuten murtaja saadaan avustuskäyttöön vasta siirtymäajan jälkeen. Kauppalaivat viipyvät satamassa ennalta määritellyn ajan (tarvittaessa muunneltavissa), johon ei kuitenkaan lasketa normaalin työajan ulkopuolista aikaa. Sen jälkeen ne lähtevät takaisin edellä kuvatun periaatteen mukaisesti. Mallissa rekisteröidään laivakäyntikohtaisesti mm. kulkuaika itsenäisesti, murtajan avustamana, murtaja-avun odotusaika ja satama-aika.

Simuloinnissa käytettyjen keskeisten muuttujien oletusarvot ovat, ellei tekstissä myöhemmin toisin mainita, seuraavat:

- **avustusraja** kaikki mallit: 5,0 solmua,
- **avustusnopeus**

Perämeren malli:	10,8 s,
Selkämeren malli:	8,8 s,
Suomenlahden malli	8,2 s,
- **simulointiperiodi** kaikki mallit: 1.11-31.5.,
- **pitkittäisliikenne**

Perämeren malli	2 136 laivakäyntiä,
Selkämeren malli	3 225+2 136 laivakäyntiä,
Suomenlahden malli	5 673 laivakäyntiä.
- **poikittaisliikenne**

Perämeren malli:	Vaasa-Uumaja,	14 edestakaista viikkovuoroa,
	Raahe-Luulaja,	4 edestakaista viikkovuoroa,
Selkämeren malli	Turku-Tukholma,	40 edestakaista viikkovuoroa,
Suomenlahden malli	Helsinki-Tukholma,	14 edestakaista viikkovuoroa,
	Helsinki Tallinna,	49 edestakaista viikkovuoroa.
- **laivan satama-aika** kaikki mallit: pitkittäisliikenteessä 8 tuntia ja poikittaisliikenteessä aikataulun mukainen,
- **jäiden puristus**

Perämeren malli:	5 päivänä, jolloin nopeudet puolittuvat,
Selkämeren malli	11 päivänä, jolloin nopeudet pienenevät 25 %,
Suomenlahden malli	11 päivänä, jolloin nopeudet pienenevät 50 %.

Jäiden puristuksesta johtuva nopeuden alenema huomioidaan parannetuissa Selkämeren ja Suomenlahden malleissa 11 satunnaisena päivänä vain avoimilla reittiosuuksilla. Puristusnopeutta on voitu hyödyntää mallien kalibroinnissa. Selkämeren mallissa puristusnopeus oli 75 %, jolla saavutettiin kokonaiskalibroinnissa parempi vastaavuus.

Tutkimuksessa verrattiin kauppalaivojen odotusajan ja niiden sekä murtajien avustusajan riippuvuutta mm. jäänmurtajien lukumäärästä, avustusnopeudesta ja jääolojen sekä laivojen kulukykymaailloisuuksien vaihtelusta.

Mallin avulla on edelleen saatavissa mm. palvelutason laatuun liittyviä tuloksia, esim.:

- kauppalaivojen läpimenoajat ja
- tavarakuljetusten kapasiteetti.

Lisäksi simulointimalli mahdollistaa arvioida muiden tekijöiden vaikutusta palvelutasoon kuten:

- talvisatamien lukumäärä,
- jääluokitukseen perustuva avustusrajoitus,
- mahdolliset nopeusrajoitukset.

Tuloksia voidaan hyödyntää tulevaisuuden infrastruktuurin suunnittelun strategiassa ja auttaa myös kuljetusyrityksiä suunnittelemaan aluskalusto- ja kuljetusratkaisuja entistä tehokkaammiksi.

Perämeren malli kattaa Perämeren meriväylät ja satamat Kaskisista alkaen pohjoiseen.

Selkämeren malli kattaa puolestaan meriväylät Itämereltä Turkuun, Naantaliin, Uusikaupunkiin, Raumalle ja Poriin.

Suomanlahden malli sisältää talviaikaiset meriväylät Itämereltä Hangosta alkaen Haminaan saakka. Lisäksi mallissa ovat käytettävissä myös väylät Viron ja Venäjän satamiin.

3 Tulokset

3.1 Yleistä

Tuloksia, joita simuloinnilla on tuotettu, ovat lähinnä murtajien ja kauppalaivojen *avustusaika*. Murtajien käyttämä avustusaika on pääsääntöisesti pienempi kuin kauppalaivojen tarvitsema, koska murtaja voi avustaa useampaa kuin yhtä laivaa kerrallaan. Kauppalaivat joutuvat aika ajoin pysähtymään vaikeiden jääolosuhteiden mukaan, eli pohjoisimpiin ja itäisimpiin satamiin matkalla olevat laivat tarvitsevat yleensä eniten murtaja-avustusta jääolojen vuoksi. Ajasta, jonka laivat joutuvat odottamaan jäänmurtajaa, käytetään nimitystä *odotusaika*. Lisäksi on tarkasteltu kuinka moni laivakäynti ylipäänsä on tarvinnut avustusta.

Varsinaiset tulokset ovat päätelmiä siitä, mikä on ollut eri tekijöiden vaikutus näihin mittareihin. Laivaoperaattorille keskeinen palvelutasomittari on odotusaika. Esimerkiksi MKL:n tavoite on, että keskimääräinen odotusaika odottamaan joutuneilla laivoilla ei ylitä 4 tuntia. Toisena kriteerinä on käytetty ilman odotusta selvinneiden kauppalaivojen osuutta, jonka tulisi avustusaikana olla vähintään 90 %.

Voidaan myös tarkastella miten eri laivatyyppit ovat tarvinneet avustusta. Liikennejakauma on laivatyypeille kuitenkin hyvin epätasainen. Muutama laivatyyppi on selvästi vallitseva. Siksi tarkastelussa tutkitaan kyseisen laivatyyppin odotusaikaa tai avustusaikaa suhteutettuna laivakäyntien lukumäärään.

3.2 Perämeri

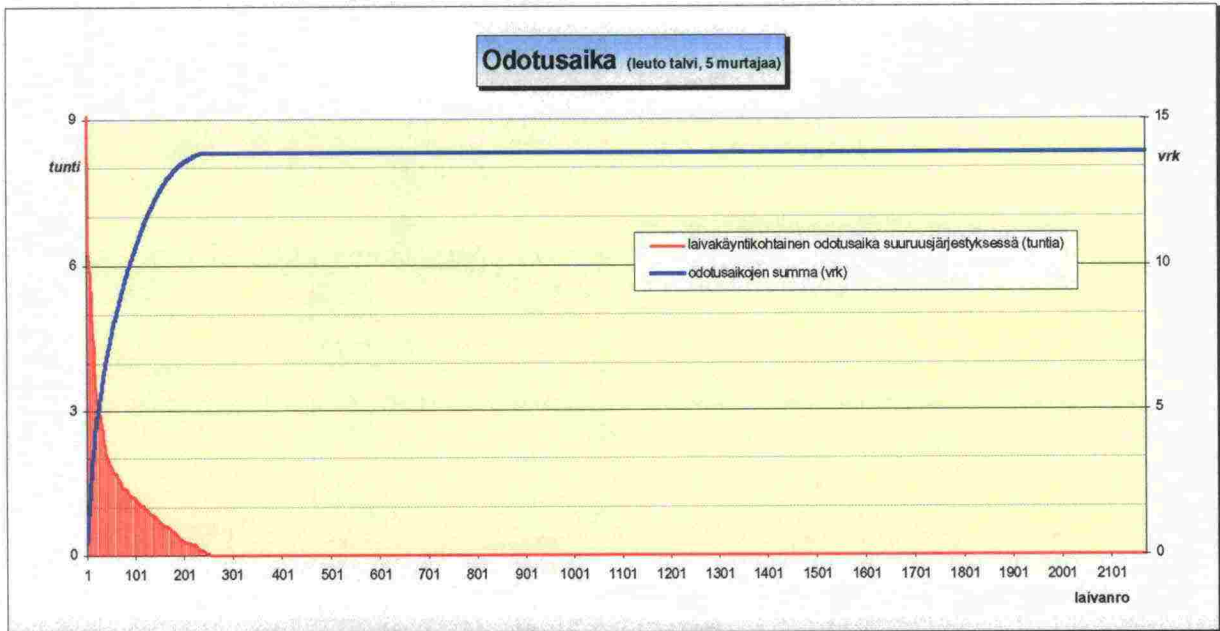
3.2.1 Yleistä

Perämerellä liikenteen simulointimallin avulla on tarkasteltu leudon, keskimääräisen ja kovan talven vaikutusta. Näiden päätapausten sisällä on keskitytty edelleen muiden tekijöiden vaikutuksiin. Malli on kalibroitu talvesta 2000-01 käytettävissä olleiden avustustietojen mukaan. Tulokset osoittautuvat varsin tarkoiksi suhteessa todellisiin arvoihin, joten mallin validiteettia voidaan pitää hyvänä.

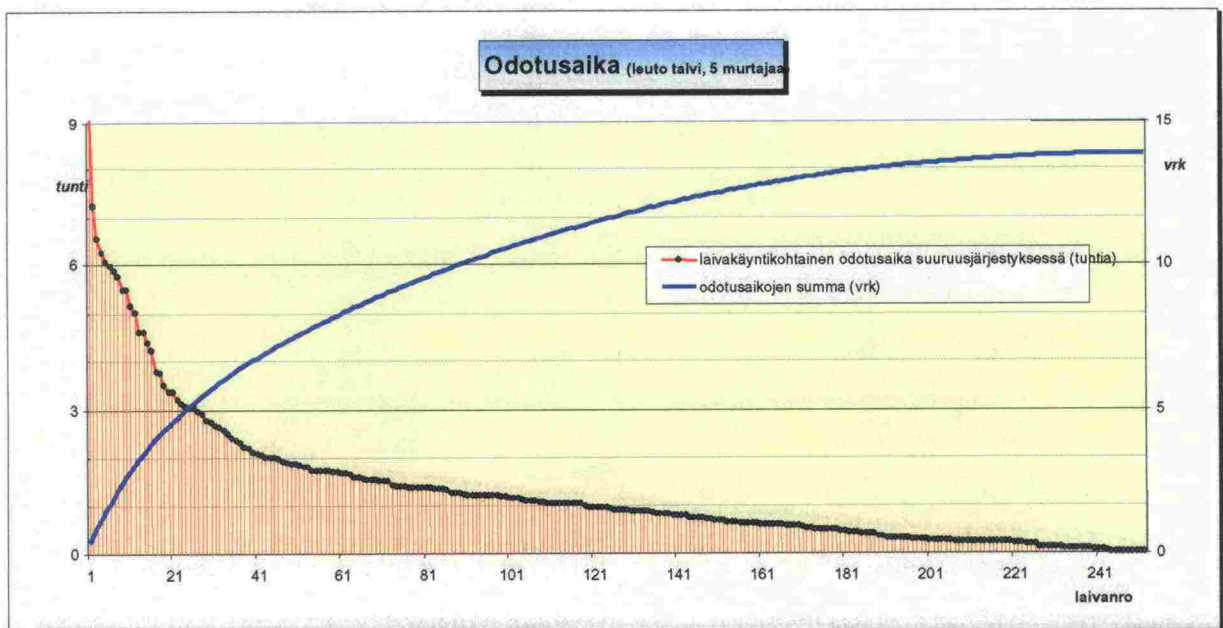
Perämeren mallissa laivakäyntikohtainen tulos sisältää sekä tulo- että paluumatkan. Muissa mallissa mallia on kehitetty siten, että molempien suuntien tulokset on voitu eritellä.

3.2.2 Perämeri, leuto talvi 2000-2001, referenssitapaus

Perämereltä mallilla saatujen tulosten mukaan leudon talven ja 5 murtajan tapauksessa pitkäaikaisliikenteen 2 159 laivakäynneistä murtaja-apua odottamaan joutuneita oli 252 laivakäyntiä. Odotusaika oli 433 tuntia eli edestakaista käyntikertaa kohti keskimäärin 1,3 tuntia kuvan 1 mukaisesti. Kuvassa 2 on esitetty pelkästään odottamaan joutuneiden laivakäyntien odotusajat.



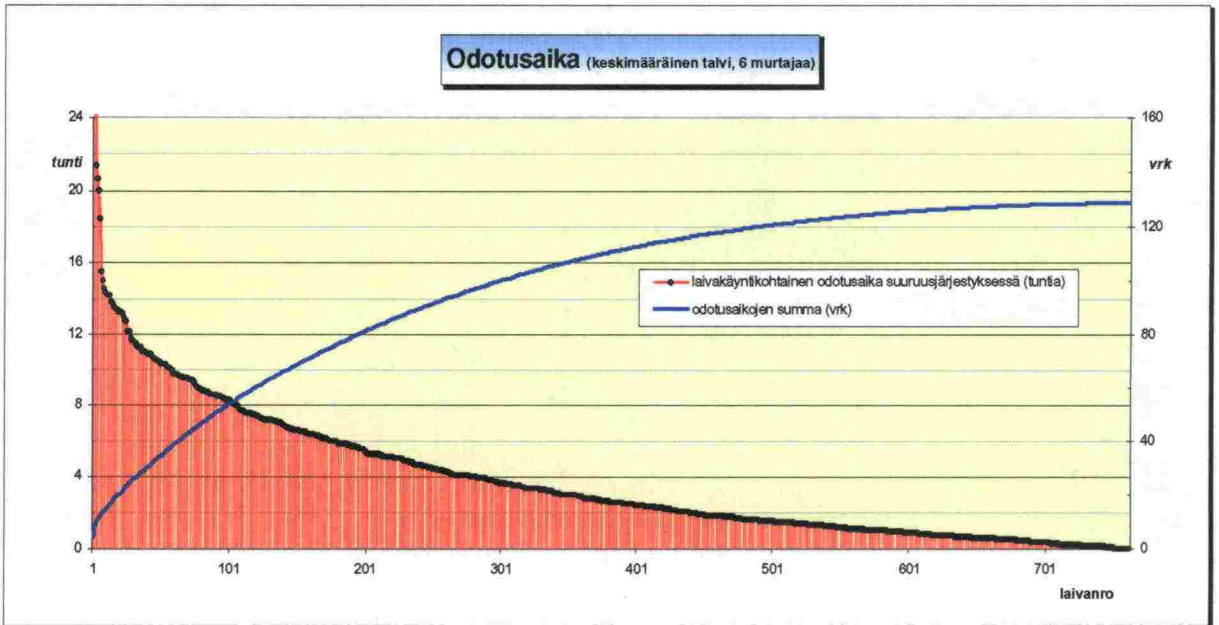
Kuva 1. Murtaja-apua odottamaan joutuneet laivakäynnit ja odotusajat suuruusjärjestyksessä, 5 murtajaa.



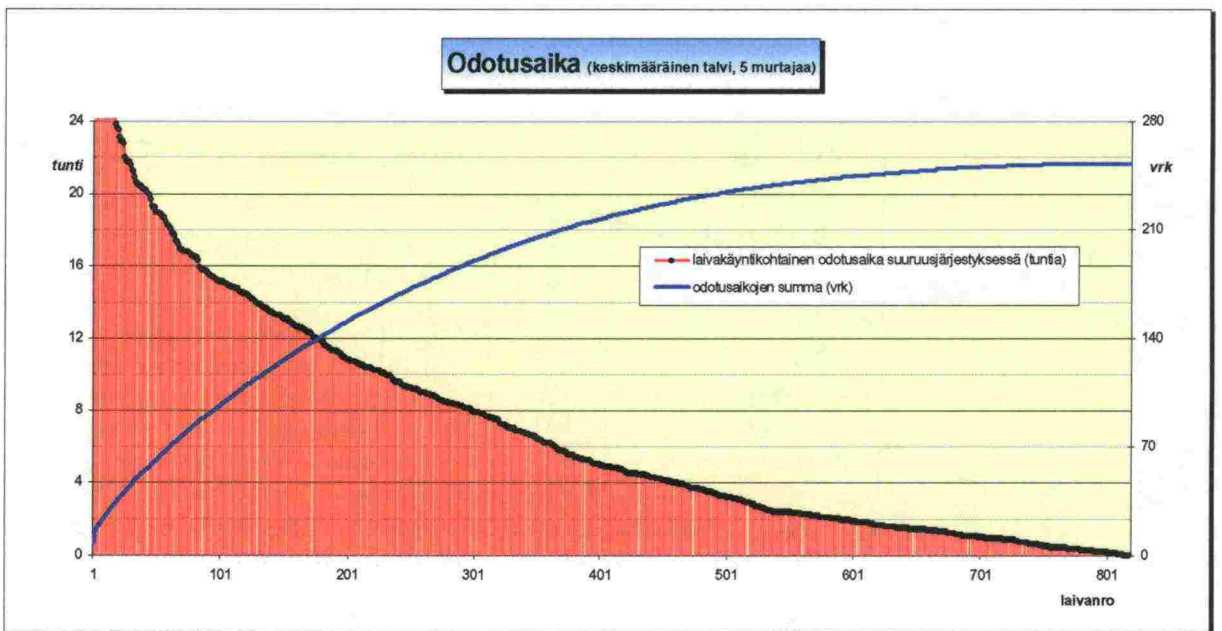
Kuva 2. Murtaja-apua odottamaan joutuneet laivakäynnit ja odotusajat suuruusjärjestyksessä, 5 murtajaa.

3.2.3 Perämeri, keskimääräinen talvi

Keskimääräisen talven ja 6 murtajan tapauksessa pitkittäisliikenteen laivakäynneistä murtaja-apua odottamaan joutuneita oli 761 laivakäyntiä. Odotusaika oli 3 087 tuntia eli edestakaista käyntikertaa kohti keskimäärin 3,8 tuntia kuvan 3 mukaisesti. Viiden murtajan tapauksessa pitkittäisliikenteen laivakäynneistä murtaja-apua odottamaan joutuneita oli 817 laivakäyntiä. Näiden odotusaika oli yhteensä 5 711 tuntia eli edestakaista käyntikertaa kohti keskimäärin 7,0 tuntia kuvan 4 mukaisesti.



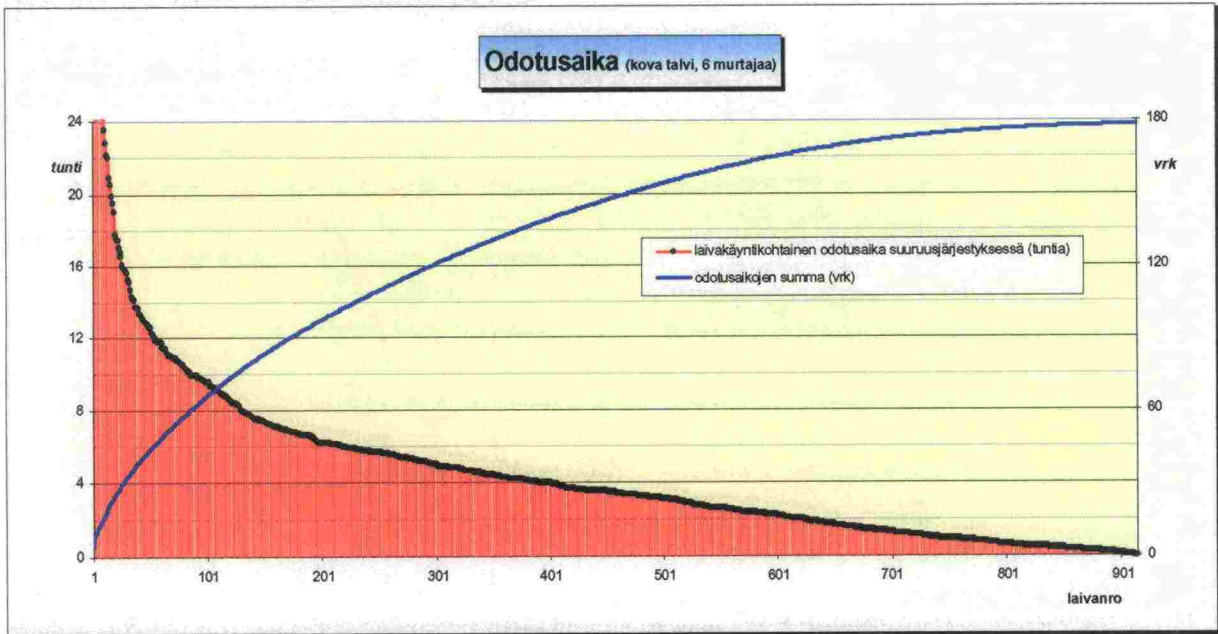
Kuva 3. Murtaja-apua odottamaan joutuneet laivakäynnit ja odotusajat suuruusjärjestyksessä, 6 murtajaa.



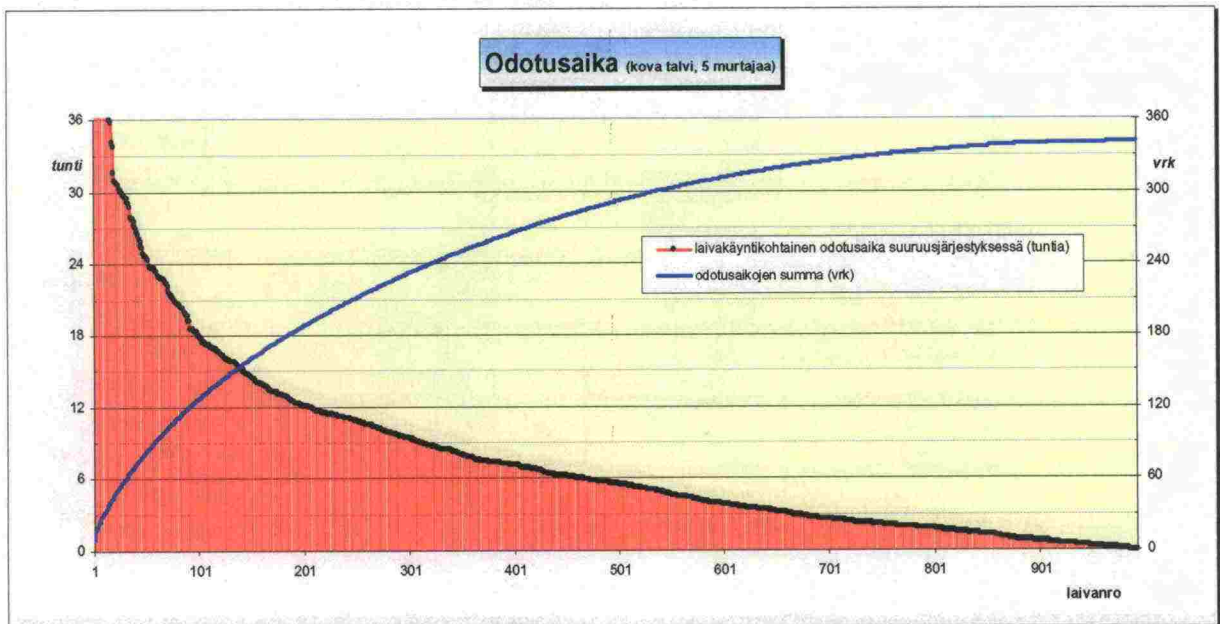
Kuva 4. Murtaja-apua odottamaan joutuneet laivakäynnit ja odotusajat suuruusjärjestyksessä, 5 murtajaa.

3.2.4 Perämeri, kova talvi

Kovan talven ja 6 murtajan tapauksessa pitkittäisliikenteen laivakäynneistä jäänmurtaja-apua odottamaan joutuneita oli 909 laivakäyntiä. Näiden odotusaika oli yhteensä 4 082 tuntia eli edestakaista käyntikertaa kohti keskimäärin 4,5 tuntia kuvan 5 mukaisesti. Viiden murtajan tapauksessa pitkittäisliikenteen laivakäynneistä jäänmurtaja-apua odottamaan joutuneita oli 990 laivakäyntiä. Näiden odotusaika oli yhteensä 7 794 tuntia eli edestakaista käyntikertaa kohti keskimäärin 7,9 tuntia kuvan 6 mukaisesti.



Kuva 5. Murtaja-apua odottamaan joutuneet laivakäynnit ja odotusajat suuruusjärjestyksessä, 6 murtajaa.

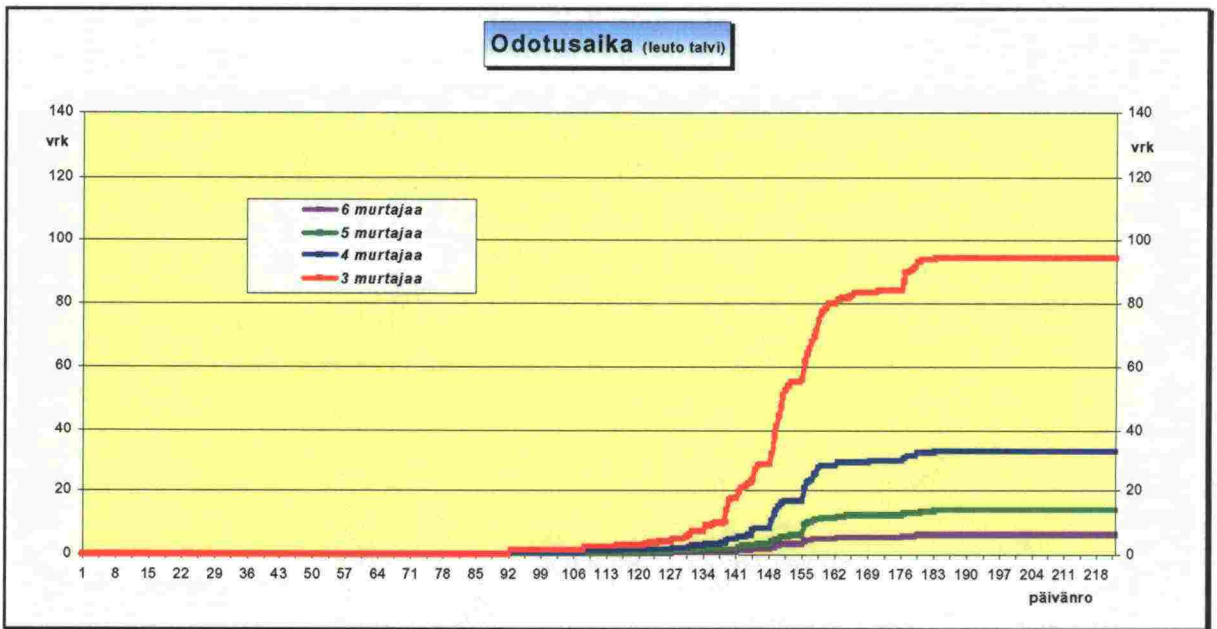


Kuva 6. Murtaja-apua odottamaan joutuneet laivakäynnit ja odotusajat suuruusjärjestyksessä, 5 murtajaa.

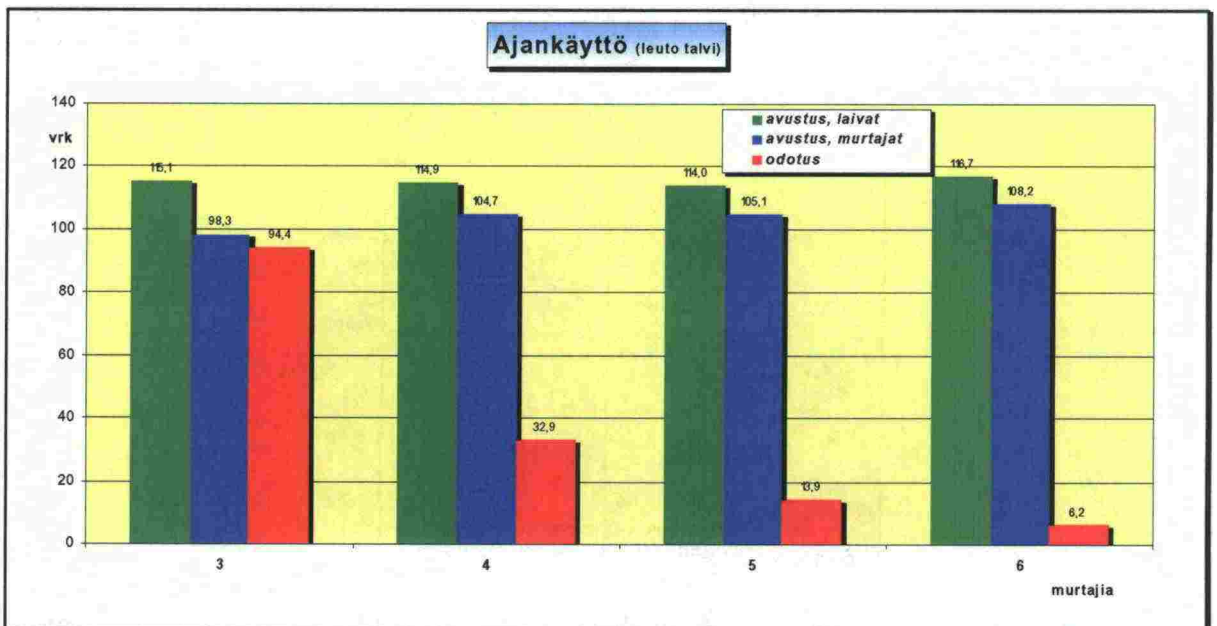
3.2.5 Perämeri, jäänmurtajien lukumäärän vaikutus

Leuto talvi:

Murtajien lukumäärän vaikutus kauppalaivojen odotusajan kertymiseen on kuvan 7 mukainen. Sen lisäksi kuvassa 8 on havainnollistettu pylvaskuviona sekä murtajien että kauppalaivojen avustajan riippuvuus jäänmurtajien lukumäärän muuttuessa 3 murtajasta 6 murtajaan.



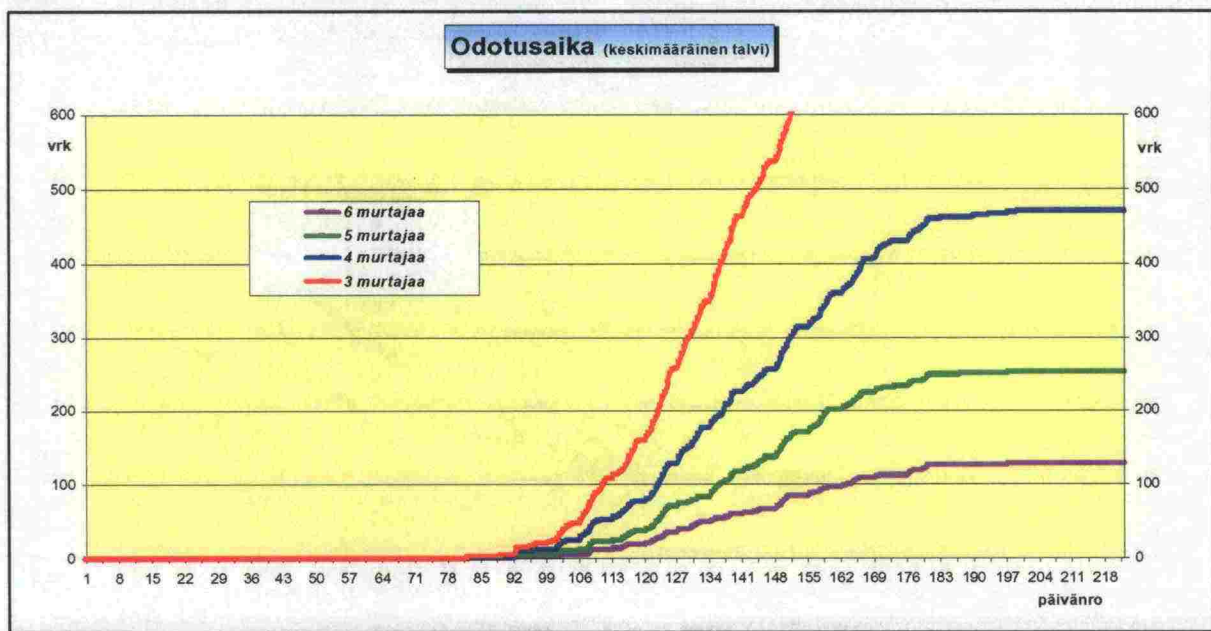
Kuva 7. Kauppalaivojen jäänmurtaja-avun odotusajan kertymäfunktio 3, 4, 5 ja 6 murtajan tapauksessa.



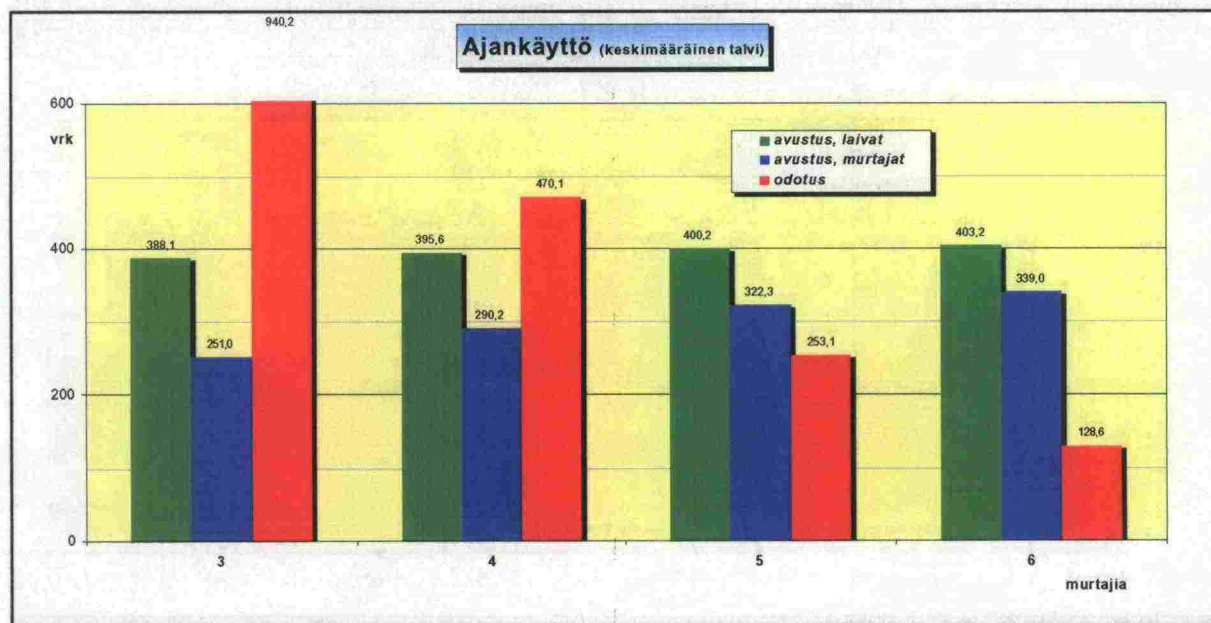
Kuva 8. Kauppalaivojen avustus- ja odotus- sekä murtajien antama avustusaika 3, 4, 5 ja 6 murtajan tapauksessa.

Keskimääräinen talvi:

Aiemman leudon talven tulosten mukaisesti keskimääräisen talven tulokset on havainnollistettu kuvissa 9 ja 10. Keskimääräisen talven vaikutus aikamittareihin on jo huomattava. Esimerkiksi 6 murtajan tapauksessa kauppalaivojen odotusaika on kasvanut leudon talven 6,2 vuorokaudesta 128,6 vuorokauteen ja murtajien avustusaika 108,2:sta 339,0 vuorokauteen.



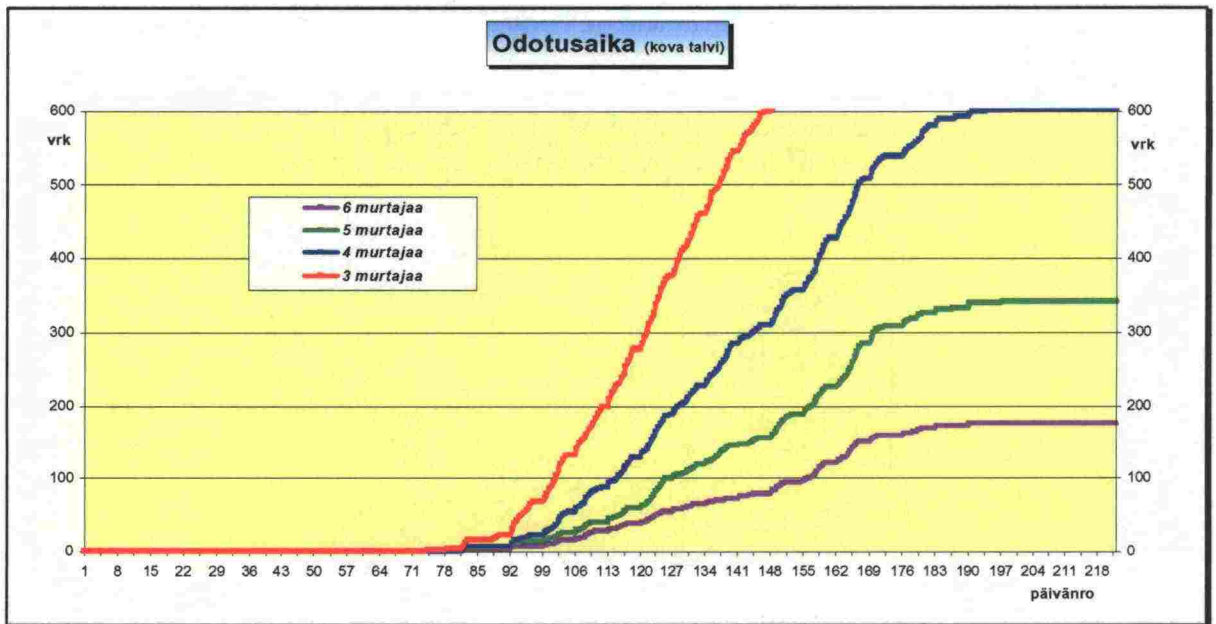
Kuva 9. Laivojen jäänmurtaja-avun odotusajan kertymäfunktio 3, 4, 5 ja 6 murtajan tapauksessa.



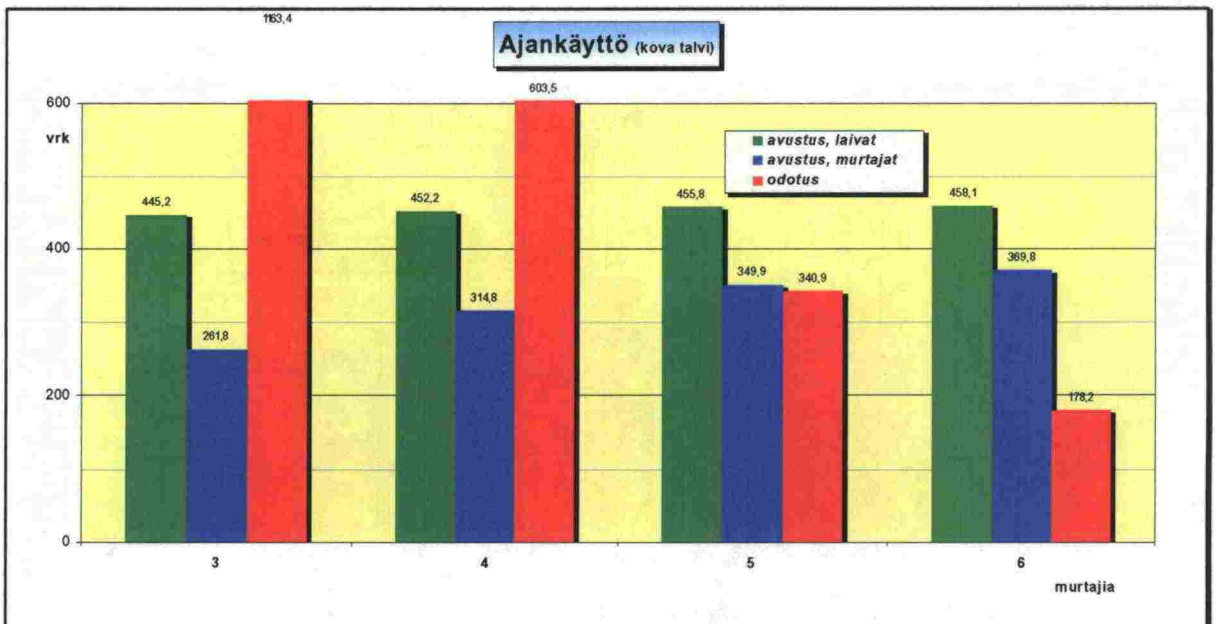
Kuva 10. Laivojen avustus- ja odotus- sekä murtajien antama avustusaika 3, 4, 5 ja 6 murtajan tapauksessa.

Kova talvi:

Vastaavasti kovaan talveen liittyvä ajankäyttö on havainnollistettu kuvissa 11 ja 12. Muihin jää-talviin vertaamalla havaitaan, että muutos keskimääräisestä talvesta kovaan talveen ei ole enää läheskään niin voimakas kuin muutos leudosta talvesta keskimääräiseen talveen. Kuvien vertailua voi vaikeuttaa seikka, että niiden asteikkojen mittakaavaa on jouduttu eri jäätalvien kohdalla muuttamaan esitysteknisistä syistä.



Kuva 11. Kauppalaivojen jäänmurtaja-avun odotusajan kertymäfunktio 3, 4, 5 ja 6 murtajan tapauksessa.

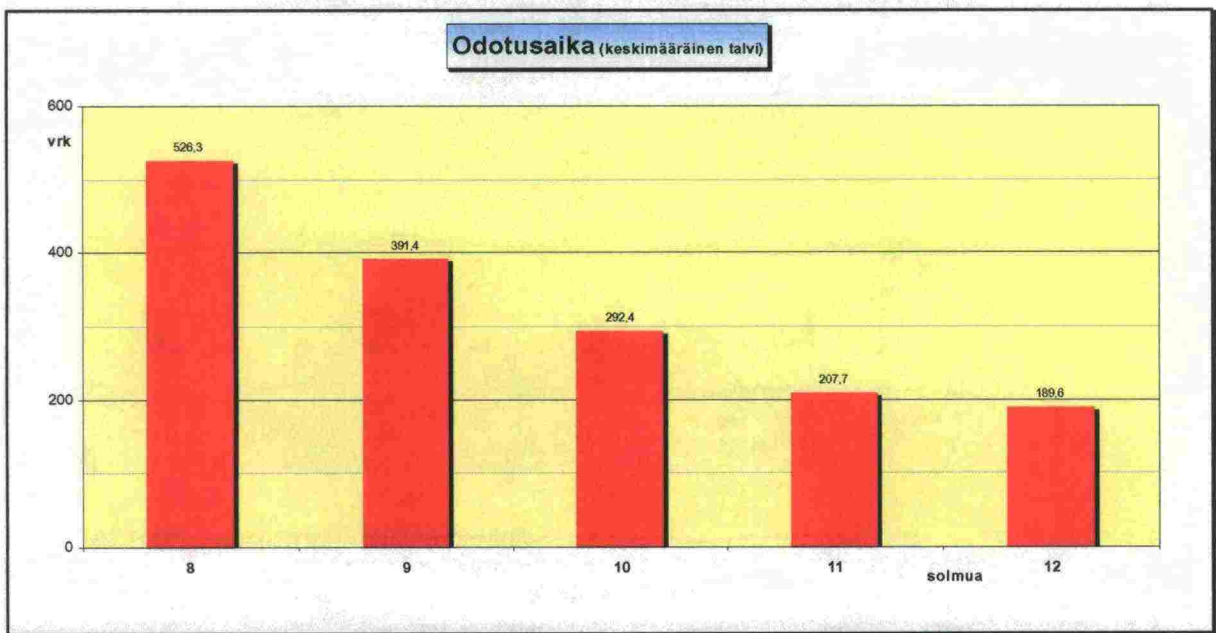


Kuva 12. Kauppalaivojen avustus- ja odotus- sekä murtajien antama avustusaika 3, 4, 5 ja 6 murtajan tapauksessa.

3.2.6 Perämeri, avustusnopeuden vaikutus

Avustusnopeudella näyttää olevan kuvan 13 mukaisesti varsin suuri vaikutus kauppalaivojen odotusaikaan, kun avustusnopeus on alle 11 solmua.

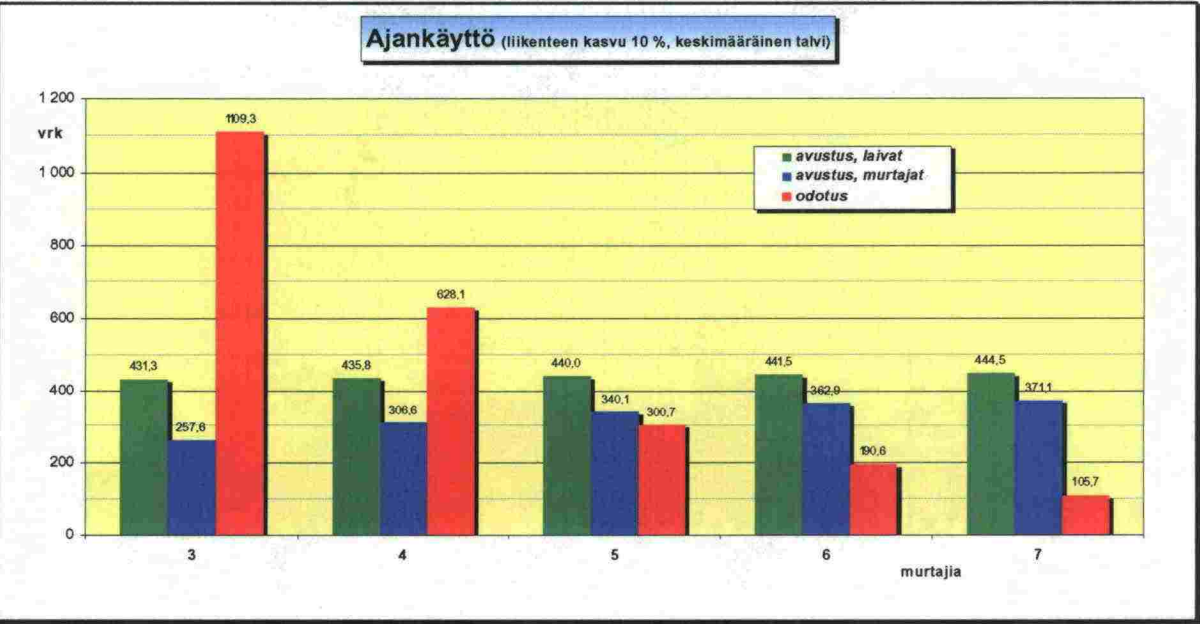
Kuvan mukaisesti keskimääräisen talven ja 5 murtajan tapauksessa avustusnopeuden pienentyessä 11 solmusta 10 solmuun kauppalaivojen odotusaika kasvaa 85 vuorokaudella 207 vuorokaudesta 292 vuorokauteen, kun taas 12 solmusta 11 solmuun vaikutus on enää 18 vuorokautta.



Kuva 13. Jäänmurtaja-avun odotusajan riippuvuus avustusnopeudesta, keskimääräinen talvi, 5 murtajaa.

3.2.7 Perämeri, liikennemäärän kasvun vaikutus

Liikennemäärän muutoksen vaikutusta on selvitetty kasvattamalla laivakäyntejä pitkittäisliikenteessä 10 % siten, että kasvu kohdistuu tasapuolisesti kaikkiin laivatyyppeihin. Tarkastelu on suoritettu keskimääräisen talven jääoloissa ja ajankäyttöön liittyvät tunnusluvut on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Kauppalaivojen avustus- ja odotus- sekä murtajien antama avustusaika liikennemäärän kasvaessa 10 %, keskimääräinen talvi.

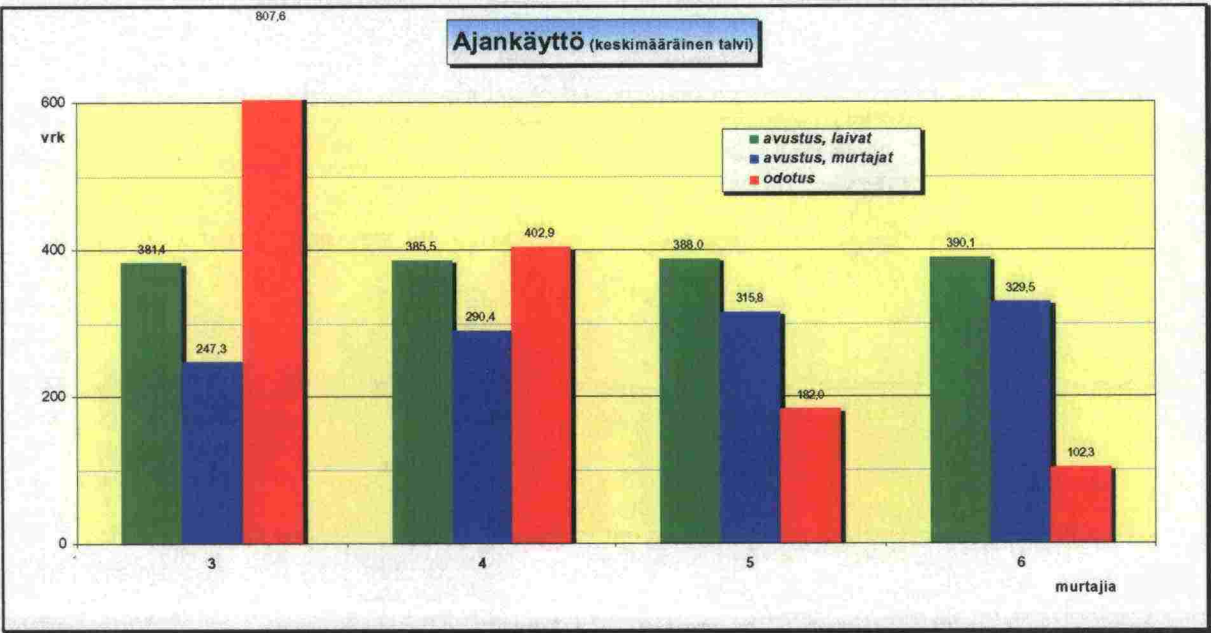
Taulukossa 3 on vertailtu liikenteen kasvun vaikutusta nykyiseen tilanteeseen. Sen mukaan esimerkiksi 5 murtajan tapauksessa 10 prosentin lisäys on kasvattanut kauppalaivojen odotusaikaa 253 vrk:sta 301 vrk:een eli 19 %.

Taulukko 3. Liikenteen 10 %:n kasvun vaikutus kauppalaivojen odotusaikaan ja murtajien avustusaikaan, keskimääräinen talvi.

murtajia	odotusaika				pitkittäisliikenne, keskim. odotusaika				murtajien avustusaika			
	vrk				tuntia				vrk			
	nykyinen liikenne	10 %:n kasvu	muutos	muutos-%	nykyinen liikenne	10 %:n kasvu	muutos	muutos-%	nykyinen liikenne	10 %:n kasvu	muutos	muutos-%
6	129	191	62	48	3,8	5,0	1,2	32	339	363	24	7
5	253	301	48	19	7,0	7,5	0,5	7	322	340	18	6
4	470	628	158	34	12,5	15,0	2,5	20	290	307	17	6
3	940	1109	169	18	24,3	26,1	1,8	7	251	258	7	3

3.2.8 Perämeri, tehokkaampien kauppalaivojen käyttö

Tehokkaampien kauppalaivojen käytön vaikutusta on selvitetty tapauksella, jossa Raahen ja Luulajan välisessä säännöllisessä poikittaisliikenteessä oleva laivatyyppi p1 on korvattu tehokkaammalla S1-tyyppin laivalla. Tarkastelu on suoritettu keskimääräisen talven jääoloissa ja ajankäyttöön liittyvät tunnusluvut ovat kuvan 15 mukaiset. Lisäksi laivakäyntikohtaisia odotusaikoja on esitetty liitteessä 6.



Kuva 15. Kauppalaivojen avustus- ja odotus- sekä murtajien antama avustusaika, kun Raahen ja Luulajan välisessä liikenteessä laivatyyppi on S1, keskimääräinen talvi.

Taulukossa 4 on vertailtu tehokkaamman laivatyyppin vaikutusta nykyiseen tilanteeseen. Sen mukaisesti 6 murtajan tapauksessa muutos on vaikuttanut kauppalaivojen odotusajan vähenemiseen 20 prosentilla, mikä vastaa 26 odotusvuorokautta, ja 5 murtajan tapauksessa vähennys on ollut suhteellisesti suurempi eli 28 % vastaten 71 odotusvuorokautta.

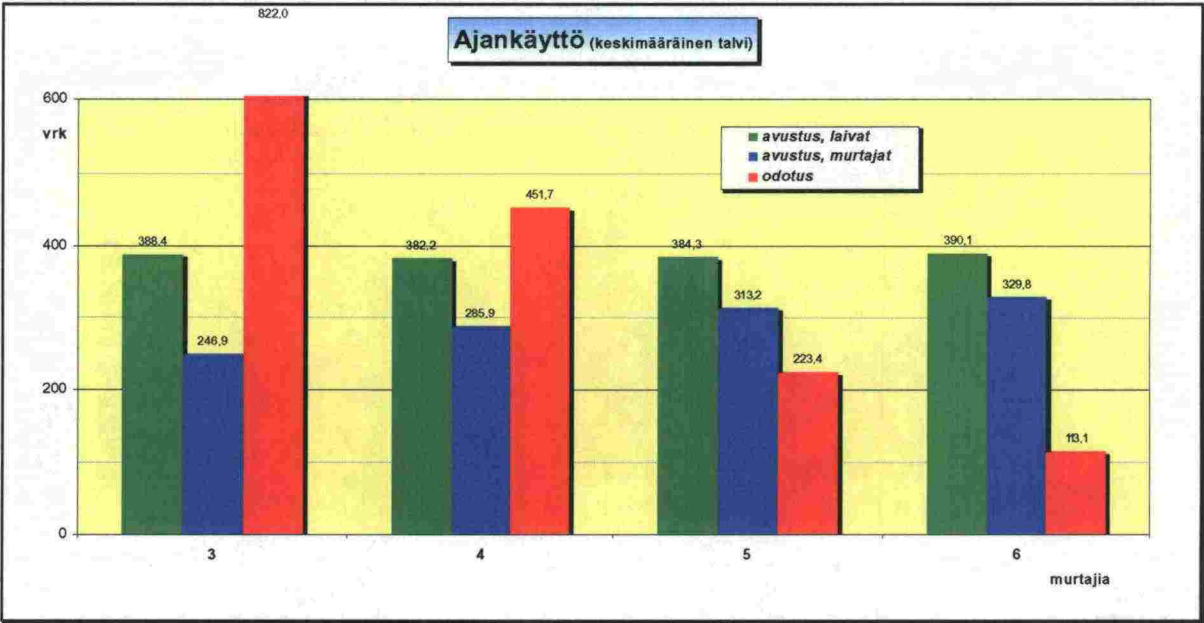
Taulukko 4. Laivatyyppin p1 korvaamisen S1:llä vaikutus kauppalaivojen odotusaikaan ja murtajien avustus-aikaan, keskimääräinen talvi.

murtajia	odotusaika				pitkittäisliikenne, keskim. odotusaika				murtajien avustusaika			
	vrk				tuntia				vrk			
	nykyinen liikenne	p1 korvattu S1:lla	muutos	muutos-%	nykyinen liikenne	p1 korvattu S1:lla	muutos	muutos-%	nykyinen liikenne	p1 korvattu S1:lla	muutos	muutos-%
6	129	102	-27	-21	3,8	3,2	-0,6	-16	339	329	-10	-3
5	253	182	-71	-28	7,0	5,1	-1,9	-27	322	316	-6	-2
4	470	403	-67	-14	12,5	10,8	-1,7	-14	290	290	0	0
3	940	808	-132	-14	24,3	21,3	-3,0	-12	251	247	-4	-2

3.2.9 Perämeri, satamien lukumäärän vaikutus

Koska referenssitilvena 2000-01, joka oli leuto, myös talvisatamiin lukeutumattomaan Kalajoen Rahjaan oli avustusta sisällytettiin se malliin. Rahjan liikenteen avustukselle aiheuttaman 57 laivakäynnin lisäkuormituksen selvittämiseksi tehtiin keskimääräisen talven tapauksessa simulointiajo, jossa tätä liikennettä ei ollut mukana. Ajankäytön tunnusluvut ovat kuvan 16 mukaiset.

Kuvan mukaisesti keskimääräisenä talvena Rahjan 57 laivakäyntiä kasvattaa murtajien avustusaikaa noin 9 vuorokautta ja kauppalaivojen odotusaikaa noin 30 vuorokautta.



Kuva 16. Kauppalaivojen avustus- ja odotus- sekä murtajien antama avustusaika silloin, kun Kalajoen Rahjan liikenne on poistettu, keskimääräinen talvi.

Taulukossa 5 on vertailtu Rahjan sataman liikenteen vaikutusta odotus- ja avustusaikoihin. Keskimääräisenä talvena 5 murtajan ja 57 laivakäynnin tapauksessa vaikutus on 0,6 tuntia keskimääräiseen laivakäyntikohtaiseen odotusaikaan.

Taulukko 5. Kalajoen Rahjan sataman liikenteen vaikutus kauppalaivojen odotusaikaan ja murtajien avustus-aikaan, keskimääräinen talvi.

murtajia	odotusaika				pitkittäisliikenne, keskim. odotusaika				murtajien avustusaika			
	vrk				tuntia				vrk			
	nykyinen liikenne	Rahjan liikenne poistettu	muutos	muutos-%	nykyinen liikenne	Rahjan liikenne poistettu	muutos	muutos-%	nykyinen liikenne	Rahjan liikenne poistettu	muutos	muutos-%
6	129	113	-16	-12	3,8	3,5	-0,3	-8	339	330	-9	-3
5	253	223	-30	-12	7,0	6,4	-0,6	-9	322	313	-9	-3
4	470	452	-18	-4	12,5	12,3	-0,2	-2	290	286	-4	-1
3	940	822	-118	-13	24,3	22,1	-2,2	-9	251	247	-4	-2

3.2.10 Perämeri, yhteenvedo vaikutuksista odotusaikaan

Taulukkoon 6 on koottu yhteenvedona kokonaisodotusaikoja ja laivakäyntikohtaisen odotusajan keskiarvoja. Pitkittäisliikenteessä laivakäyntikohtaiseen odotusaikaan sisältyy kummankin suunnan mahdolliset odotukset.

Taulukko 6. Kokonais- ja laivakäyntikohtaisen odotusajan riippuvuus eri tekijöistä.

Talvi	mur- tasia	Pitkittäisliikenne				Poikittais- liikenne, odotusaika (tuntia)	Odotusaika, yhteensä	
		Odottamaan joutuneet			laiva- käynnit, kaikki		tuntia	vrk
		odotusaika (tuntia)	keskim. odotus- aika (tuntia)	laiva- käynnit				
Leuto	6	143	0,8	181	2 136	6	149	6
Keskimääräinen	6	2 883	3,8	761	2 136	204	3 088	129
Kova	6	4 083	4,5	909	2 136	195	4 278	178
Leuto (referenssitapaus)	5	318	1,3	252	2 136	15	333	14
Keskimääräinen	5	5 711	7,0	817	2 136	363	6 074	253
Kova	5	7 794	7,9	990	2 136	389	8 182	341
Leuto	4	750	2,5	300	2 136	40	789	33
Keskimääräinen	4	10 634	12,5	850	2 136	648	11 283	470
Kova	4	13 826	13,3	1036	2 136	658	14 483	603
Keskimääräinen, liikenteen kasvu 10 %	5	6 822	7,5	912	2 385	394	7 216	301
Keskimääräinen, Raahe-Luulaja-linjalla laivatyyppi	5	4 221	5,1	821	2 136	147	4 368	182
Keskimääräinen, Kalajoen Rahjan liikenne poistettu	5	5 046	6,4	788	2 079	316	5 362	223

3.3 Selkämeri

3.3.1 Yleistä

Selkämeren liikenteen simulointimallin avulla on tarkasteltu jäätälvien 2002-03 ja 1986-87 mu-
kaisten olosuhteiden vaikutusta liikenteeseen. Mallin liikenne vastaa talvena 2000-01 toteutuneita
aluskäyntejä. Selkämeren malli on kalibroitu talvesta 2002-03 käytettävissä olleiden avustustieto-
jen mukaan. Tulokset osoittautuivat tässäkin tapauksessa varsin tarkoiksi suhteessa todellisiin
arvoihin, joten mallin validiteettia voidaan pitää hyvänä.

Selkämeren mallin liikenne sisältää Turkuun, Naantaliin, Uusikaupunkiin, Raumalle ja Poriin
suuntautuvan liikenteen sekä poikittaisliikenteen Turku-Maarianhamina-Tukholma. Malli sisältää
myös Perämerelle/tä suuntautuvan liikenteen silloin, kun se on kulkee Selkämeren alueella.

Simulointiperiodina oli pitkittäisiä laivakäyntejä Selkämeren satamiin 3225 kpl ja Perämerelle
suuntautuvia laivakäyntejä oli 2169 kpl eli yhteensä 5394 pitkittäisliikenteen laivakäyntiä. Näiden
lisäksi Turusta Ahvenanmaalle ja Ruotsiin suuntautuvaa säännöllistä poikittaisliikennettä oli 40
lähtöä viikossa. Todettakoon tässä yhteydessä, että poikittaisliikenne ei tarvinnut nyt simuloitujen
jäätälvien olosuhteissa mallin mukaan lainkaan murtaja-avustusta, joten Selkämeren mallin tulos-
ten avustuksiin ja odotuksiin liittyvät arvot koskevat vain ns. pitkittäisliikennettä.

Selkämeren mallissa laivakäyntikohtaisia tuloksia on tarkasteltu erikseen kummankin suunnan
osalta, joten tuloshavaintoja on yhteensä kaksi kertaa laivakäyntien määrää. Pitkittäisliikenteen
5394 laivakäynnistä muodostuu yhteensä 10 788 yksisuuntaista käyntiä. Suuntakohtaiset tulokset
ovat informatiivisempia kuin laivakäyntikohtaiset. (Perämeren mallissahan tuloksia tarkasteltiin
laivakäyntikohtaisina, ei suuntakohtaisina).

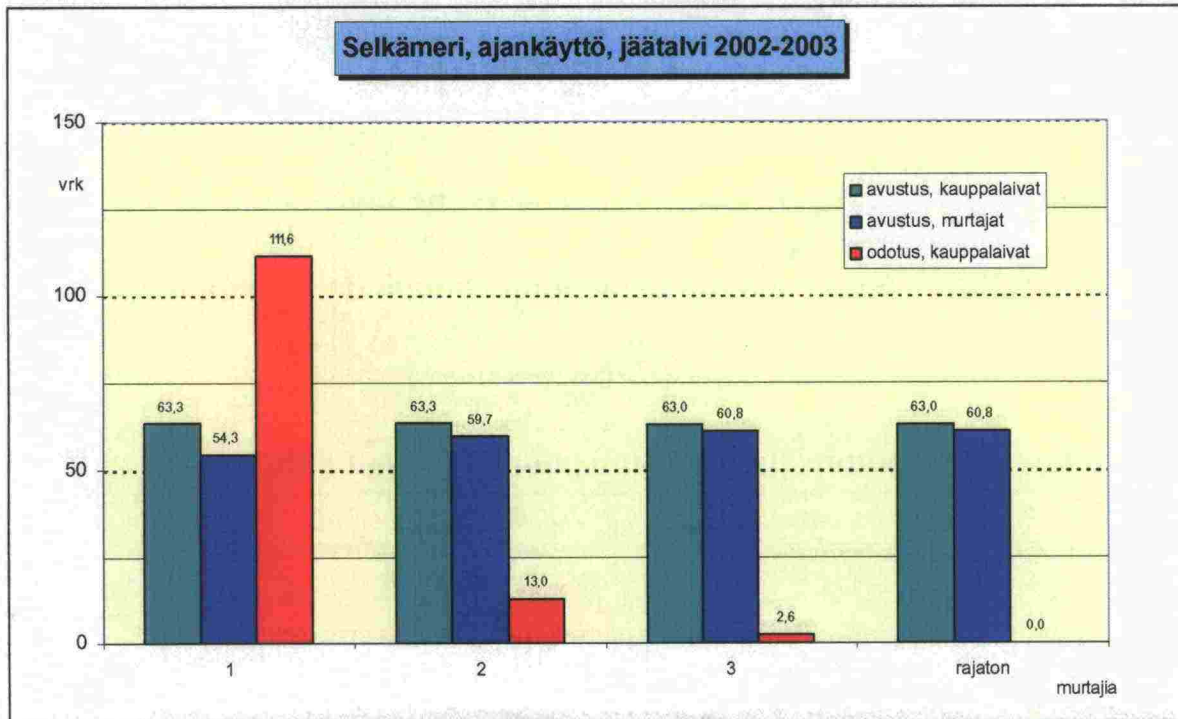
3.3.2 Selkämeri, jäätälvi 2002-03 (referenssitalvi)

Mallilla saatujen tulosten mukaan (kuva 17) kahden murtajan tapauksessa murtaja-apua odotta-
maan joutuneita oli 275 yksisuuntaista laivakäyntiä, eli alle 3 % kaikista. Murtajien antama avus-
tusaika oli 59,7 vrk ja kauppa-alusten avustusaika puolestaan 63,3 vrk (aika on jonkin verran suu-
rempi kuin murtajien antama avustusaika, koska murtaja on voinut avustaa useampaa laivaa sa-
manaikaisesti). Palvelutasoa kuvaava kauppa-alusten odotusaika oli 313 tuntia (13,0 vrk) eli edes-
takaista käyntikertaa kohti keskimäärin 1,1 tuntia.

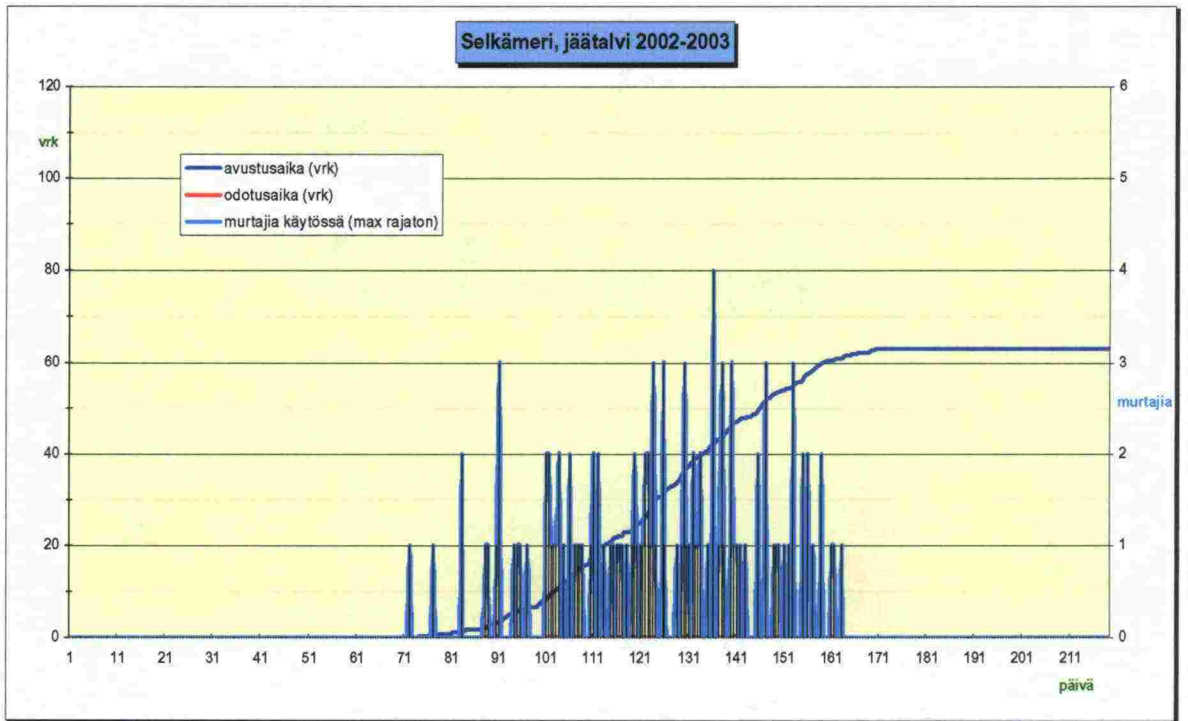
Kuvassa 17 on esitetty tulokset tapauksista, jos vastaavan liikenteen avustustoiminta olisi hoidettu
yhdellä tai kolmella murtajalla. Lisäksi on esitetty myös teoreettisen tapauksen tilanne, eli jos
murtajia olisi käytettävissä rajoituksetta.

Jäänmurtajatarvetta suhteessa kauppalaivojen avustusaikaan ja odotusaikaan on havainnollistettu
kuviissa 18-21. Kuviissa murtajien kuormitus, eli kuinka monta murtajaa on parhaillaan avustamas-
sa, on kuvattu päivittäin kahdentoista tunnen välein (klo 12 ja 24). Tarkastelu on aloitettu teoreet-
tisesta tapauksesta, jossa murtaja on aina käytettävissä, kun sitä tarvitaan. Kuva havainnollista
hyvin tilanteet, joissa murtajatarve on suurin. Vastaavasti murtajaresurssien ollessa rajoitetut tarve
heijastuu odotusaikakuvaajan jyrkkänä kasvuna.

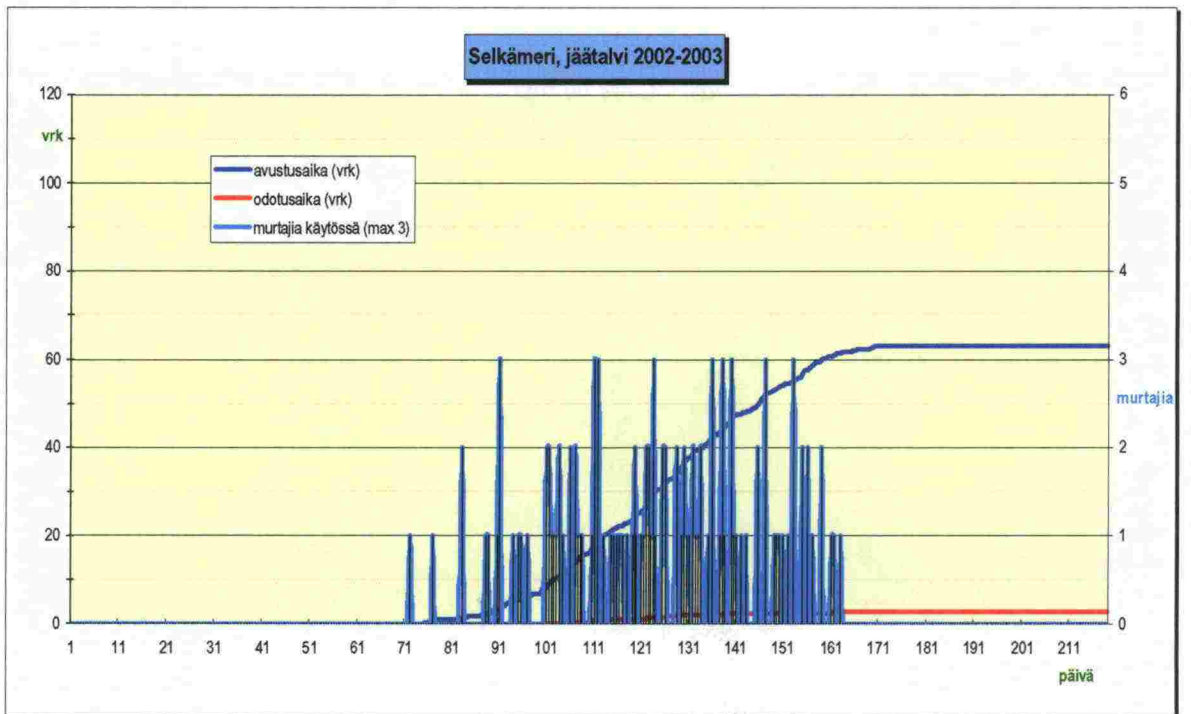
Laivakäyntikohtaisesti voidaan palvelutasoa havainnollistaa odotusaikojen tarkastelulla. Kuvissa 22-24 on esitetty laivakohtaiset (1-suuntainen) odotusajat. Esimerkiksi kahden murtajan tapauksessa (kuva 23) jäänmurtaja-apua odottamaan joutuneita oli 275 kpl, joista melkein kaikki olivat alle neljä tuntia.



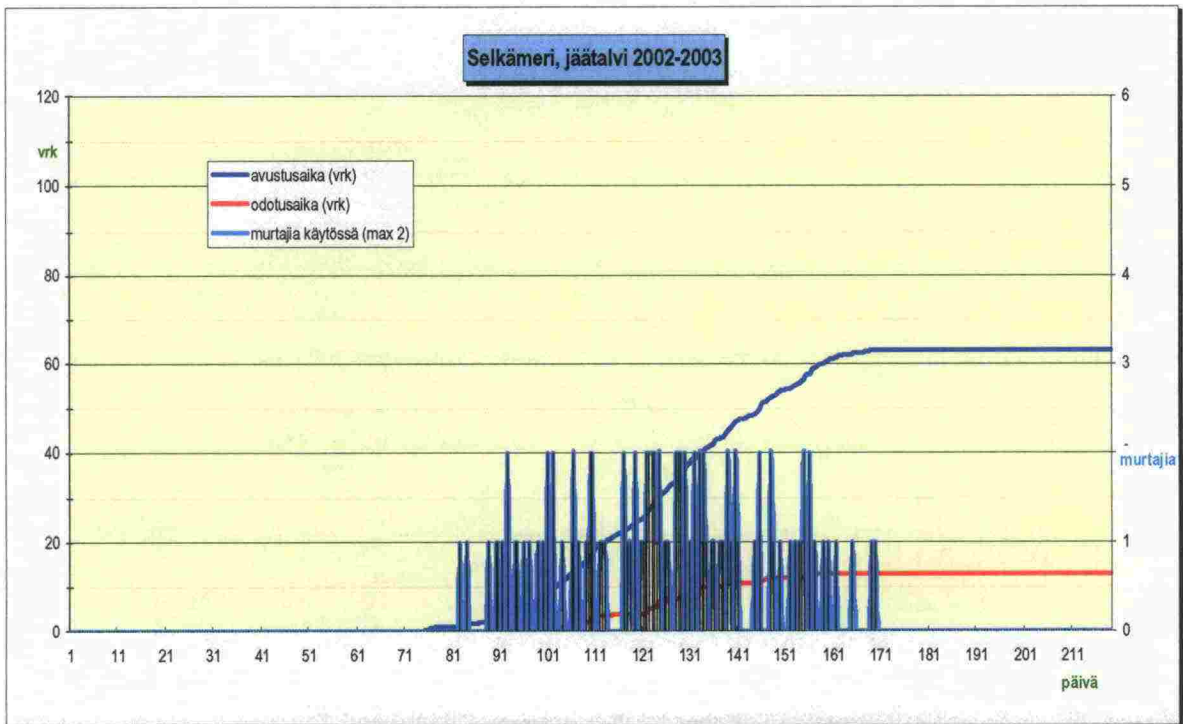
Kuva 17. Kauppalaivojen avustus- ja odotus- sekä murtajien antama avustusaika 1, 2 ja 3 murtajan tapauksessa ja tilanteessa, jossa murtajia olisi rajoituksetta käytettävissä.



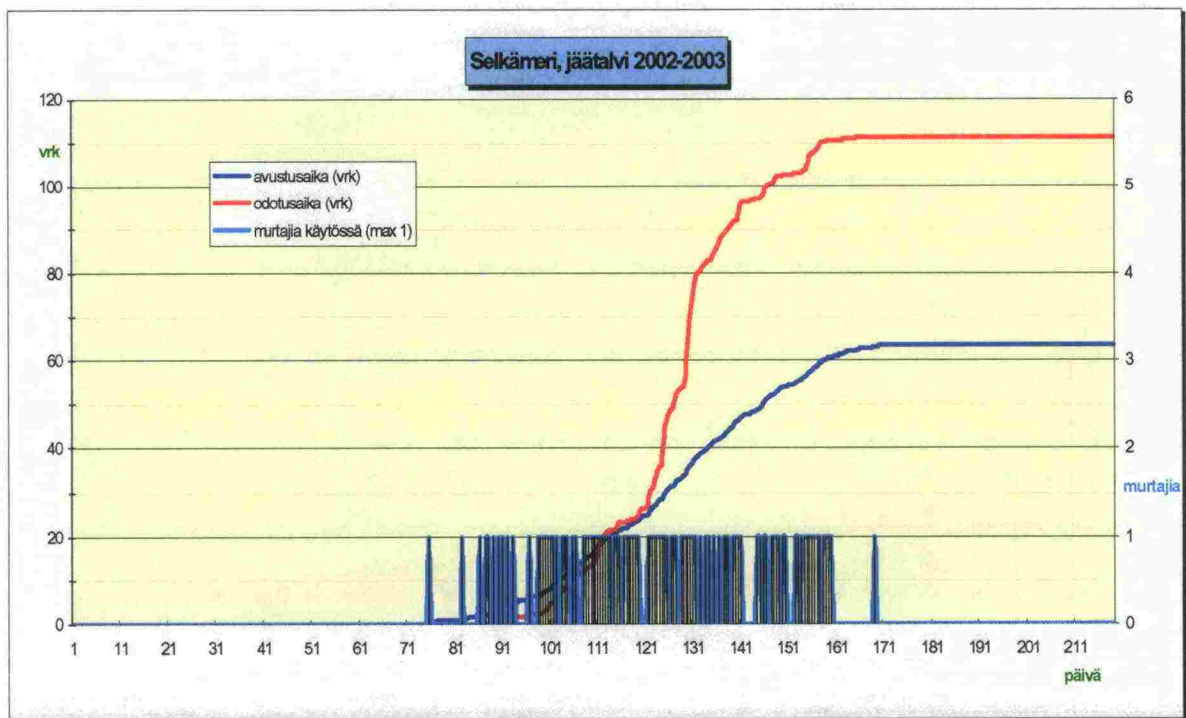
Kuva 18. Kauppalaivojen avustusaikakertymä sekä murtajien kuormitus. Teoreettinen tapaus, jossa murtajia käytössä rajattomasti.



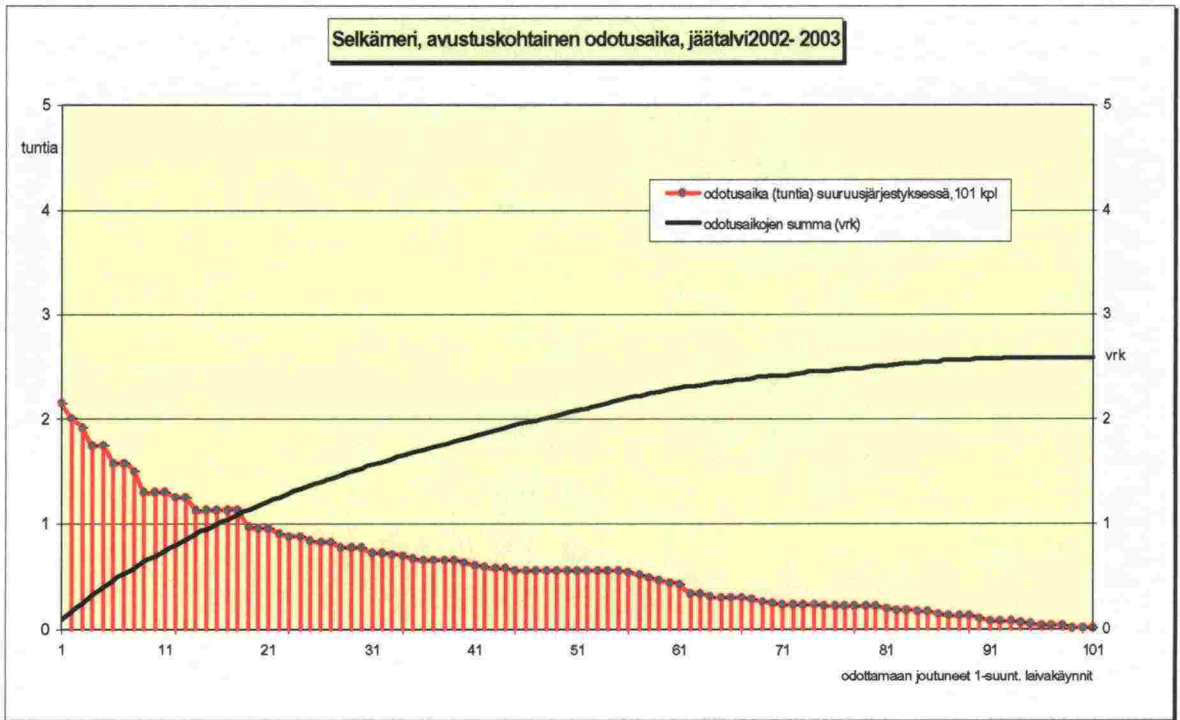
Kuva 19. Kauppalaivojen avustus- ja odotusaikakertymä sekä murtajien kuormitus, kun käytössä enintään 3 murtajaa.



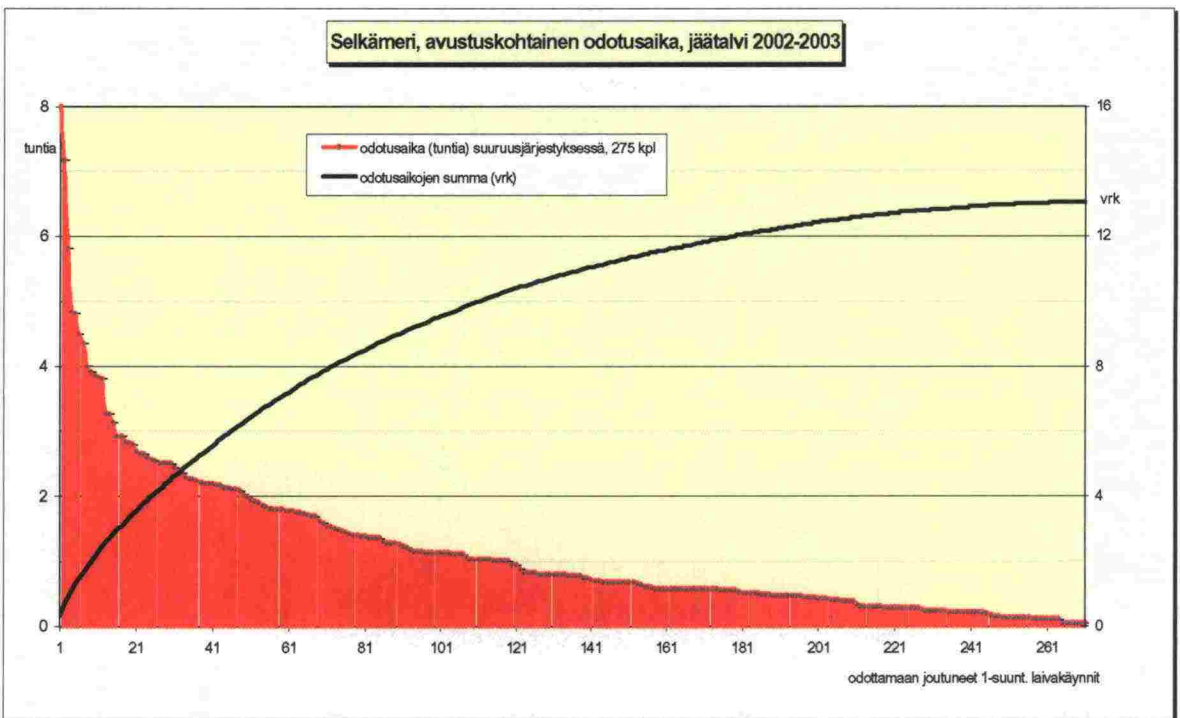
Kuva 20. Kauppalaivojen avustus- ja odotusaikakertymä sekä murtajien kuormitus, kun käytössä enintään 2 murtajaa.



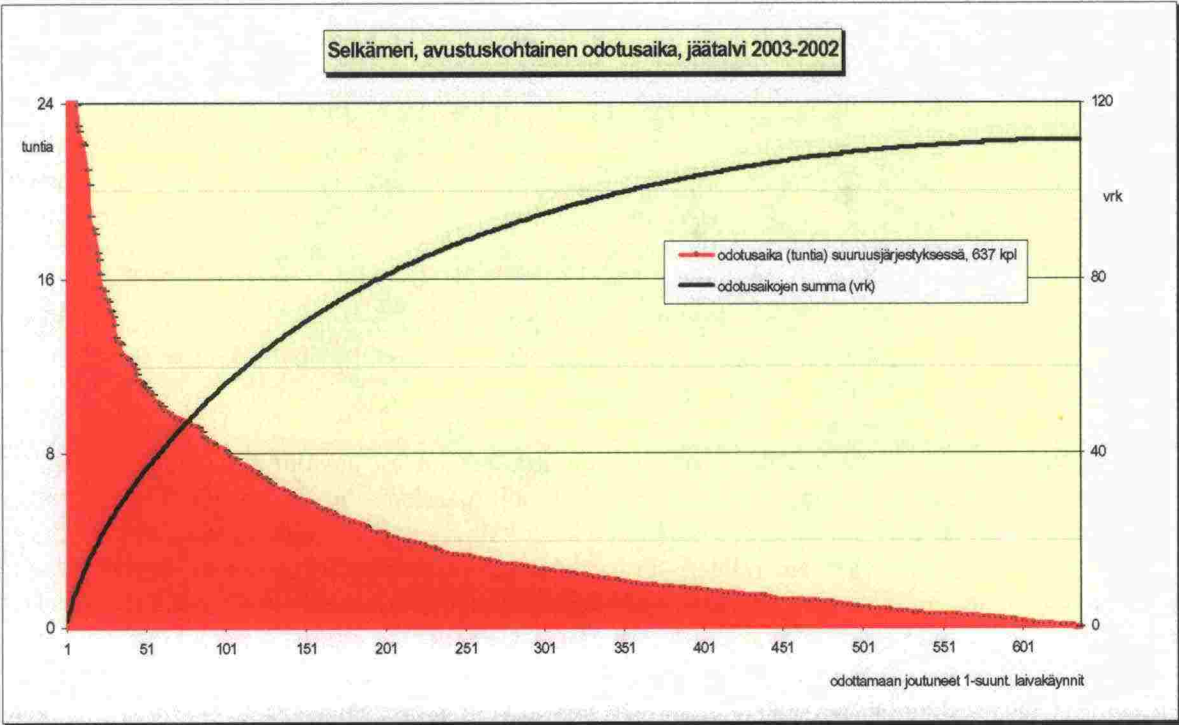
Kuva 21. Kauppalaivojen avustus- ja odotusaikakertymä sekä murtajien kuormitus, kun käytössä enintään 1 murtaja.



Kuva 22. Murtaja-apua odottamaan joutuneet 1-suuntaiset laivakäynnit ja odotusajat suuruusjärjestyksessä, 3 murtajaa.



Kuva 23. Murtaja-apua odottamaan joutuneet 1-suuntaiset laivakäynnit ja odotusajat suuruusjärjestyksessä, 2 murtajaa



Kuva 24. Murtaja-apua odottamaan joutuneet 1-suuntaiset laivakäynnit ja odotusajat suuruusjärjestyksessä, 1 murtajaa.

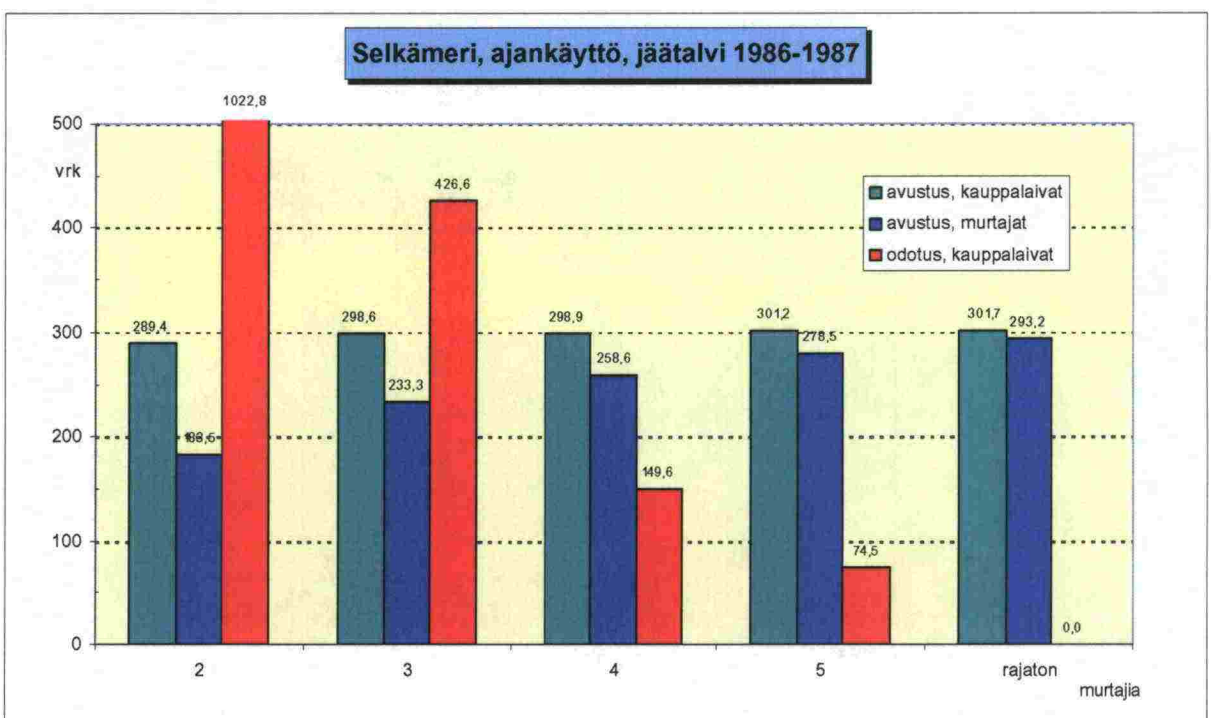
3.3.3 Selkämeri, jäätalvi 1986-1987

Talven 1986-87 jääolosuhteet olivat kovat. Näihin olosuhteisiin sijoitettiin edellisen luvun mukainen liikennetiheys. Tulokset osoittavat, että 2 murtajan mahdollistama palvelutaso ei olisi ollut enää riittävä. Mallin tulosten mukaan murtaja-apua odottamaan joutuneita oli 1412 yhdensuuntaista laivakäyntiä, eli 13 % toteutuneista. Kuvan 25 mukaan murtajien antama avustus-aika oli 183,5 vrk ja laivojen avustusaika 289,4 vrk. Laivojen tarvitseman avustuksen suuruus jo osoittaa, että kahden murtajan kapasiteetti olisi ollut aivan liian pieni. Palvelutasoa kuvaava odotusaika oli 1022,8 vrk eli yhdensuuntaista käyntikertaa kohti keskimäärin 17,4 tuntia.

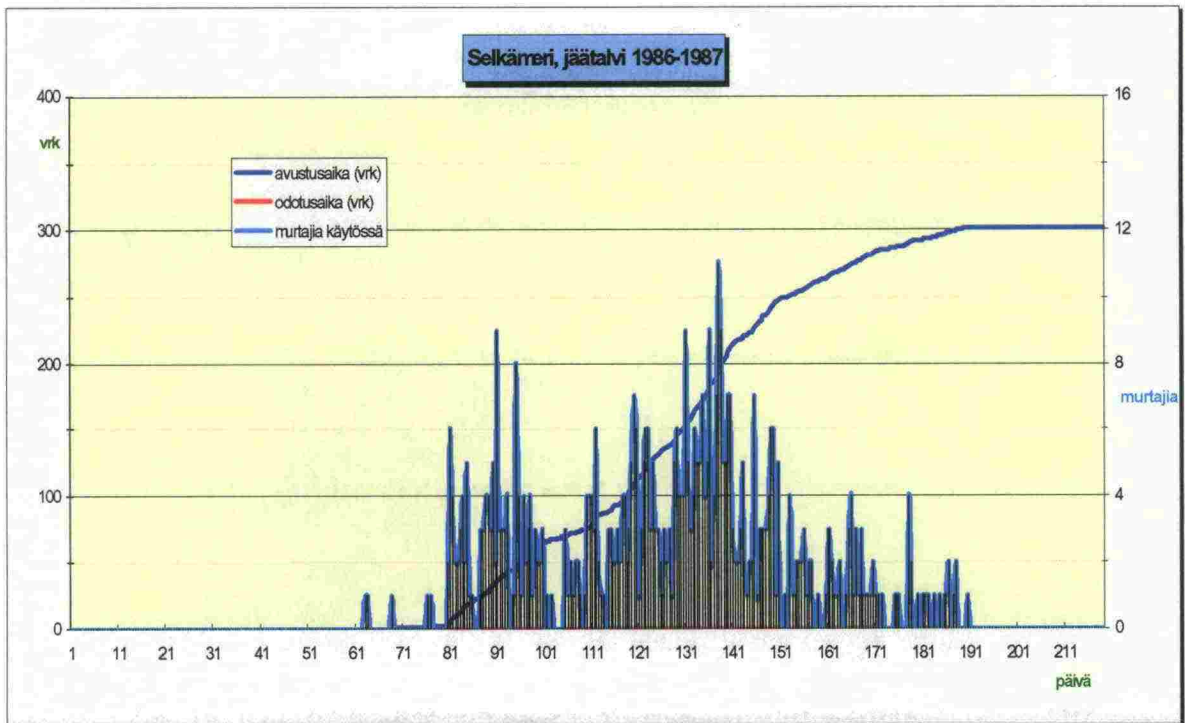
Kuvassa on esitetty myös tulokset tapauksista, jos vastaavan liikenteen avustustoiminta olisi hoidettu kolmella, neljällä tai viidellä murtajalla. Lisäksi on näytetty myös teoreettisen tapauksen tilanne, eli jos murtajia olisi käytettävissä rajoituksetta.

Murtajatarvetta suhteessa laivojen avustus- ja odotusaikaan on havainnollistettu kuvissa 26-30. Teoreettinen tapaus paljastaa, että tarve on suurin noin päivien 129-140 välillä. Tällöin, murtajaresurssien ollessa rajoitetut, odotusajan kertymä on kaikkein jyrkin. Kuvat osoittavat, että kyseisen jäätalven oloissa nykyisen frekvenssin ja aluskaluston mukaista liikennettä ei pystyittäisi vaikeimpana aikana hoitamaan tyydyttävästi kahdella, kolmella eikä vielä neljälläkään murtajalla.

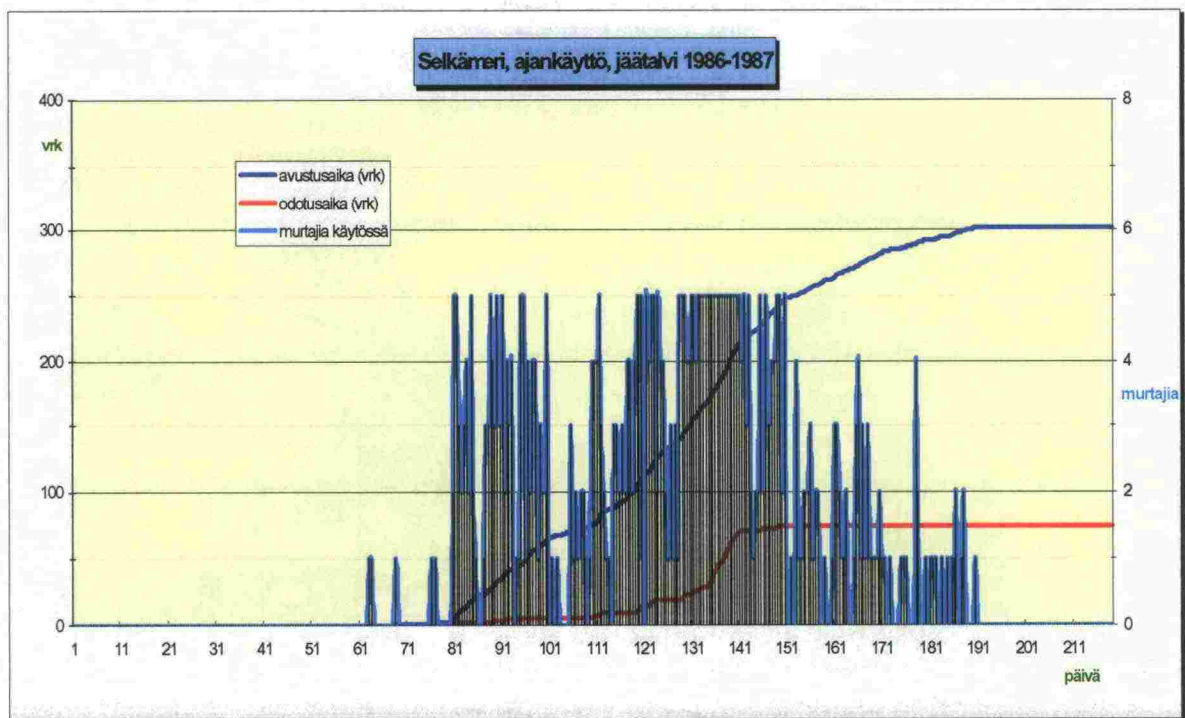
Laivakäyntikohtaisesti palvelutasoa on havainnollistettu odotusaikojen tarkastelulla. Kuvissa 31-32 on esitetty 1-suuntaiset odotusajat kahden ja viiden murtajan tapauksessa. Esimerkiksi kahden murtajan tapauksessa jäänmurtaja-apua odottamaan joutuneita oli 1412 kpl, joista noin 900 oli yli neljä tuntia. Hyväksyttävä palvelutaso saavutettaisiinkin vasta viidellä murtajalla.



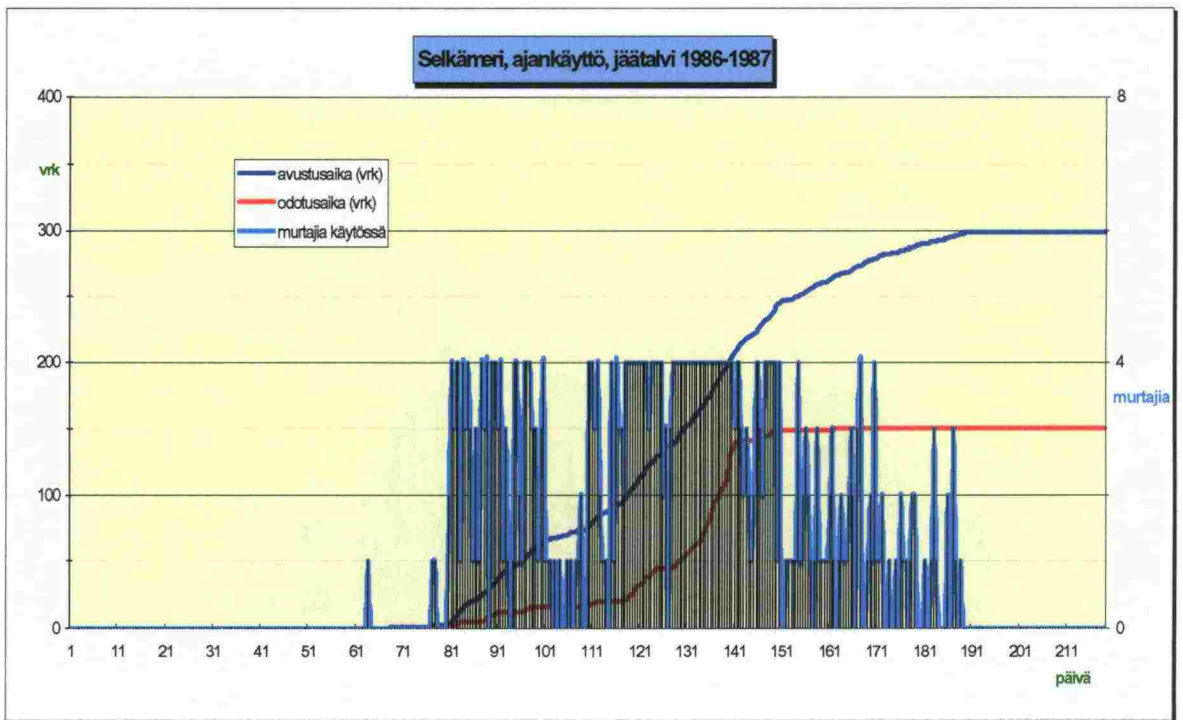
Kuva 25. Kauppalaivojen avustus- ja odotus- sekä murtajien antama avustusaika 1, 2 ja 3 murtajan tapauksessa ja tilanteessa, jossa murtajia olisi rajoituksetta käytettävissä.



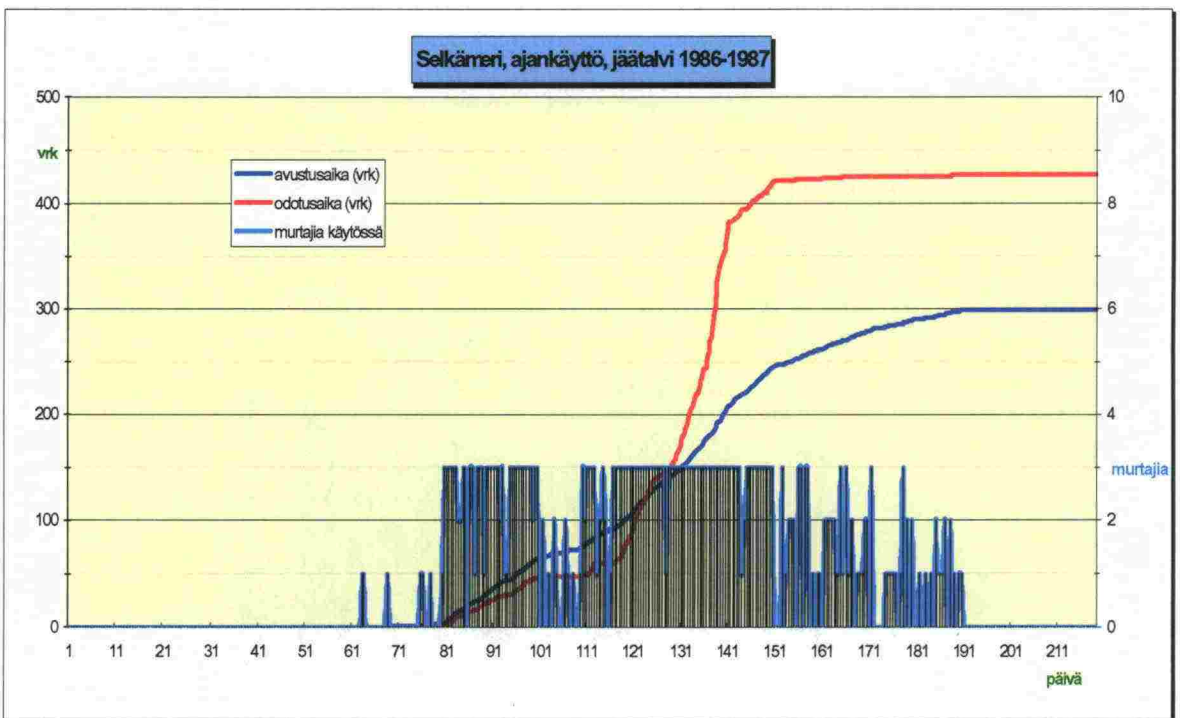
Kuva 26. Kauppalaivojen avustusaikakertymä sekä murtajien kuormitus. Teoreettinen tapaus, jossa murtajia käytössä rajattomasti.



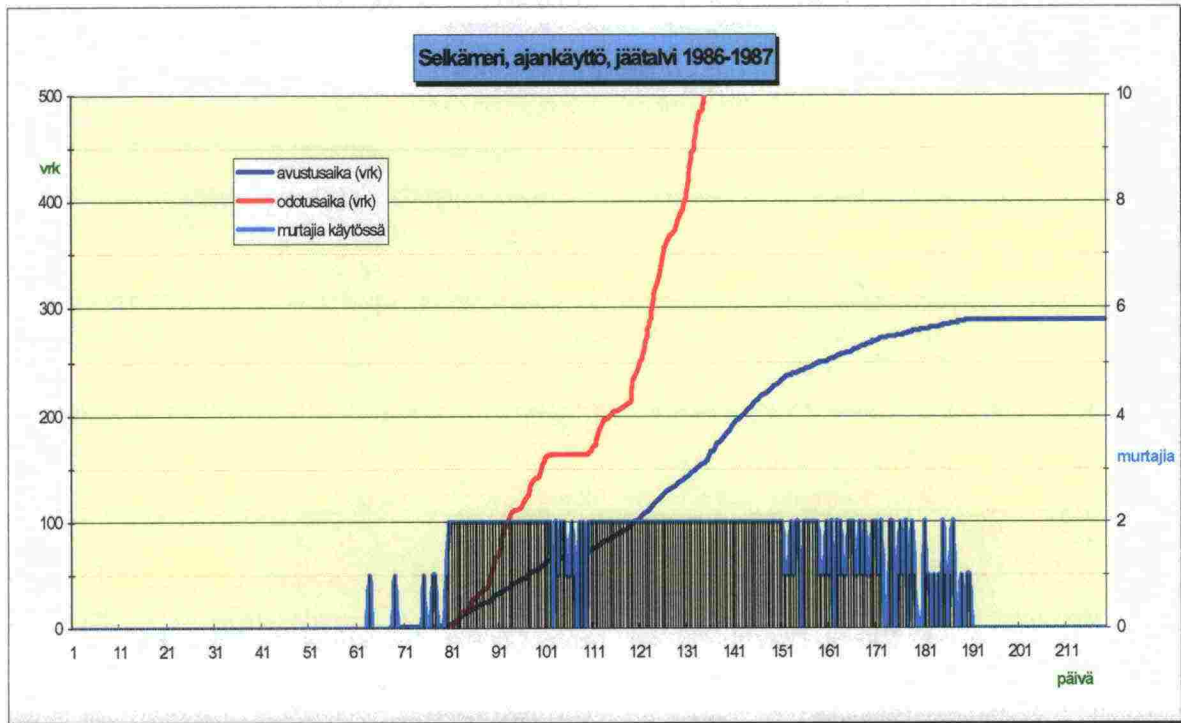
Kuva 27. Kauppalaivojen avustus- ja odotusaikakertymä sekä murtajien kuormitus, kun käytössä on enintään 5 murtajaa.



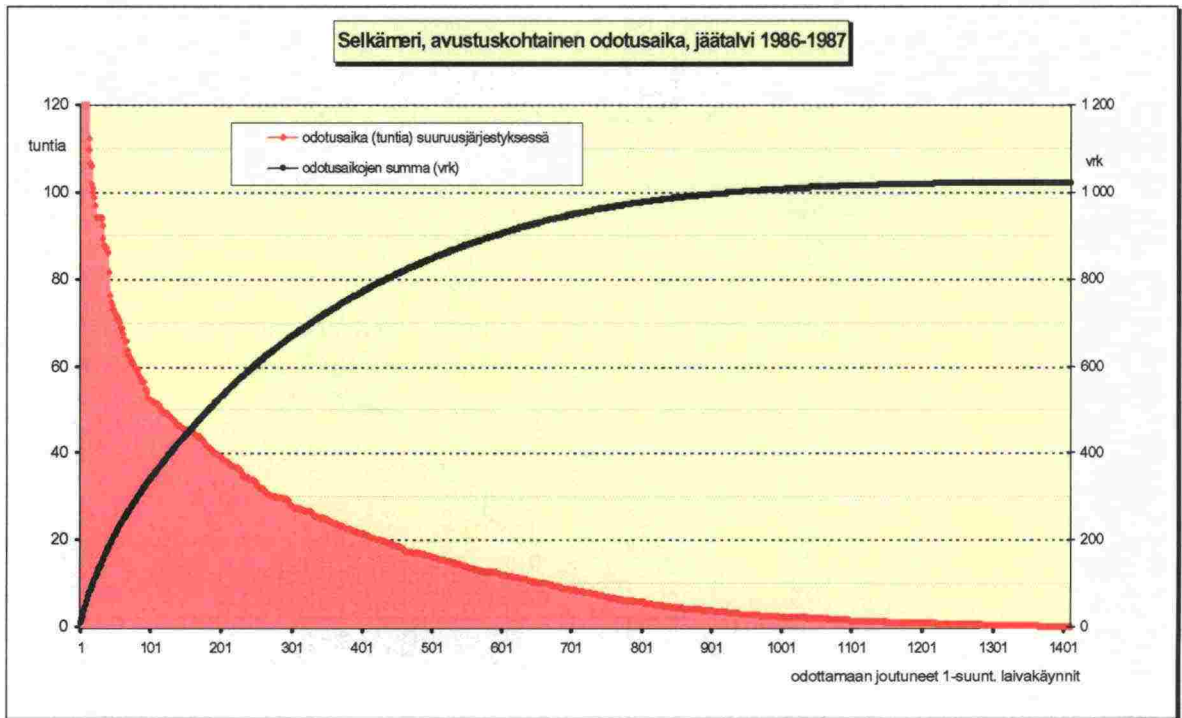
Kuva 28. Kauppalaivojen avustus- ja odotusaikakertymä sekä murtajien kuormitus, kun käytössä on enintään 4 murtajaa.



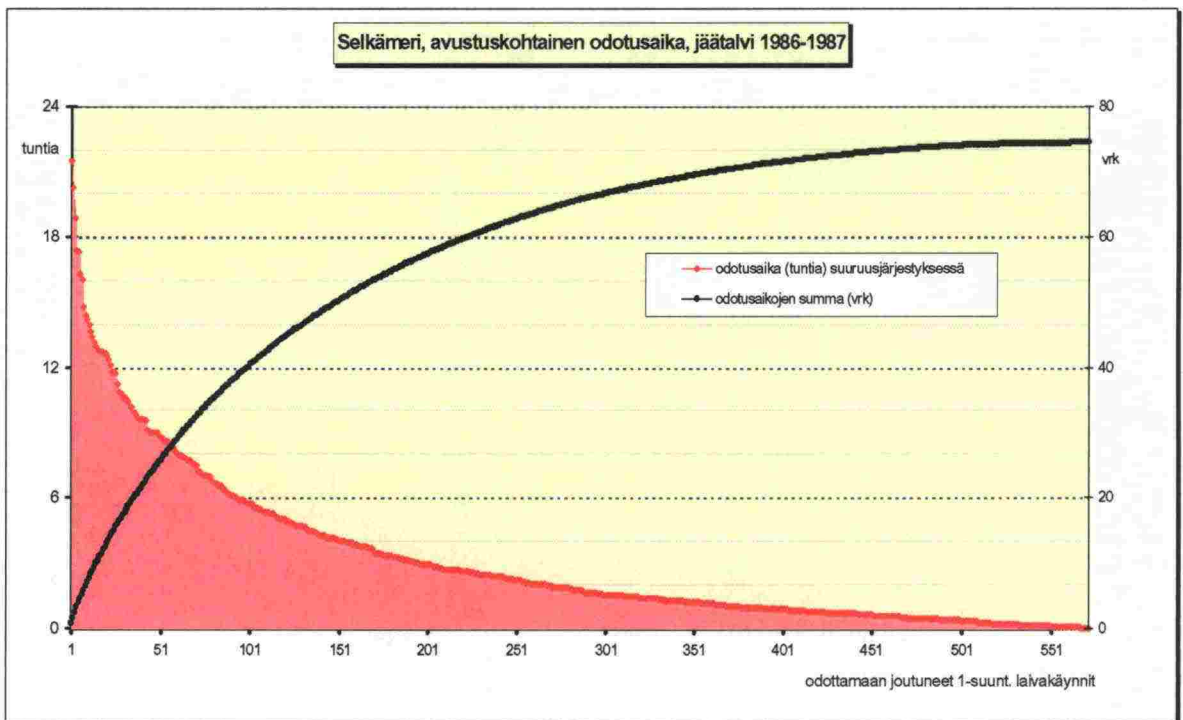
Kuva 29. Kauppalaivojen avustus- ja odotusaikakertymä sekä murtajien kuormitus, kun käytössä on enintään 3 murtajaa



Kuva 30. Kauppalaivojen avustus- ja odotusaikakertymä sekä murtajien kuormitus, kun käytössä on enintään 2 murtajaa



Kuva 31. Murtaja-apua odottamaan joutuneet 1-suuntaiset laivakäynnit ja odotusajat suuruusjärjestyksessä, 2 murtajaa.



Kuva 32. Murtaja-apua odottamaan joutuneet 1-suuntaiset laivakäynnit ja odotusajat suuruusjärjestyksessä, 5 murtajaa.

3.3.4 Selkämeri, yhteenveto

Taulukkoon 7 on yhteenvetona koottu 1-suuntaisen laivakäynnin ajankäyttöä ja palvelutasoa kuvaavat tunnusluvut kummankin jäätälven oloissa eri murtajakapasiteeteilla. Avustusnopeus on ollut 8,8 solmua. Puristuspäiviä on ollut 11 päivänä, jolloin kauppialuksen nopeus on puolittunut.

Taulukko 5. Yhdensuuntaisen laivakäynnin ajankäyttöä ja palvelutasoa kuvaavat tunnusluvut

jäätälvi	murtajia	ajankäyttö, vrk						
		omin avuin	avustus, kauppa-laivat	odotus	avustus, murtajat	avustettuja 1-suuntaisia laivakäyntejä	odottaneita 1-suuntaisia laivakäyntejä	keskim. odotusaika (tuntia)
2002-03	rajaton	6 031,3	63,0	0,0	60,8	858	0	0,0
2002-03	3	6 031,4	63,0	2,6	60,8	858	101	0,6
2002-03	2	6 026,6	63,3	13,0	59,7	859	275	1,1
2002-03	1	6 027,9	63,3	111,6	54,3	859	637	4,2
1986-87	rajaton	6 480,5	301,7	0,0	293,2	1 724	0	0,0
1986-87	6	6 481,4	301,7	32,9	286,0	1 720	384	2,1
1986-87	5	6 481,8	301,2	74,5	278,5	1 720	572	3,1
1986-87	4	6 477,2	298,9	149,6	258,6	1 710	792	4,5
1986-87	3	6 479,2	298,6	426,6	233,3	1 714	1 138	9,0
1986-87	2	6 489,7	289,4	1 022,8	183,5	1 706	1 412	17,4

3.4 Suomenlahti

3.4.1 Yleistä

Suomenlahden liikenteen simulointimallin avulla on tarkasteltu jäätalvien 2002-03 ja 1986-87 mukaisten olosuhteiden vaikutusta liikenteeseen. Mallin liikenne vastaa talvena 2000-01 toteutuneita aluskäyntejä. Suomenlahden malli on kalibroitu talvesta 2002-03 käytettävissä olleiden avustustietojen mukaan. Mallilla saadut tulokset olivat näiden tietojen mukaiset, joten mallin validiteettia voidaan pitää hyvänä.

Suomenlahden mallin liikenne sisältää Hankoon, Koverhariin, Inkoseen, Helsinkiin, Sköldvikiin, Loviisaan, Kotkaan ja Haminaan suuntautuvan liikenteen sekä poikittaisliikenteen Helsinki-Tukholma ja Helsinki-Tallinna.

Simulointiperiodin aikana pitkittäisiä laivakäyntejä oli Suomenlahden satamiin 5 673 kpl. Tämän lisäksi Helsingistä Tukholmaan ja Tallinnaan suuntautuvaa säännöllistä poikittaisliikennettä oli 63 lähtöä viikossa.

Suomenlahden mallissa laivakäyntikohtaisia tuloksia on tarkasteltu erikseen kummankin suunnan osalta, joten tuloshavaintoja on yhteensä kaksi kertaa laivakäyntien määrää.

Koska jäätilanteen vaikeutuessa laivat käyttävät saaristoväylää on Suomenlahden mallissa liikennöinti tapahtunut sitä käyttäen. Sköldvikiin ja takaisin matkaavat tankkerit ovat kuitenkin aina kulkeneet ulkoväylää pitkin.

3.4.2 Suomenlahti, jäätalvi 2002-03 (referenssitilvi)

Mallilla saatujen tulosten mukaan kolmen murtajan tapauksessa murtaja-apua odottamaan joutuneita oli 1383 yksisuuntaista laivakäyntiä. Murtajien antama avustusaika oli 196,3 vrk ja kauppalaivojen avustusaika puolestaan 297,1 vrk kuvan 33 mukaisesti. Palvelutasoa kuvaava kauppalaivojen odotusaika oli 309,9 vrk, joka on edestakaista käyntikertaa kohti keskimäärin 5,4 tuntia. Avustusaikana odottamatta läpikäyneiden osuus oli 82,7 %.

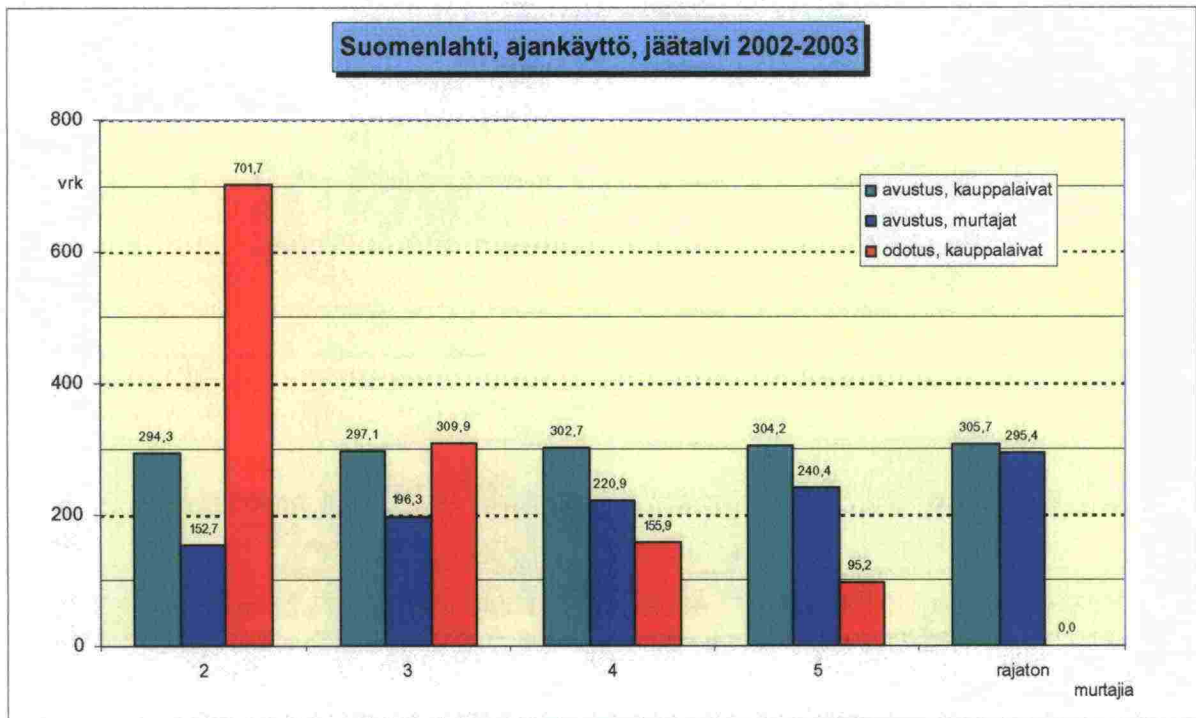
Kuvassa 33 on esitetty tulokset tapauksista, joissa vastaavan liikenteen avustustoiminta on hoidettu kahdella, neljällä tai viidellä murtajalla. Tämän lisäksi on vielä teoreettisen tapauksen tilanne, eli jos murtajia olisi käytettävissä rajoituksetta.

Kolmen murtajan operoimana palvelutason tunnusluvut ovat alhaiset, mutta jäätalven olosuhteet olivat myös poikkeuksellisen vaikeat. Tämä käy ilmi kuvasta 34, jossa on kuvattu avustusaikojen kertymä ja murtajien tarve (teoreettinen tapaus). Jäänmurtajien kuormitus suhteessa kauppalaivojen avustusaikaan ja odotusaikaan on havainnollistettu kuvissa 35-36 kolmen ja neljän murtajan tapauksille.

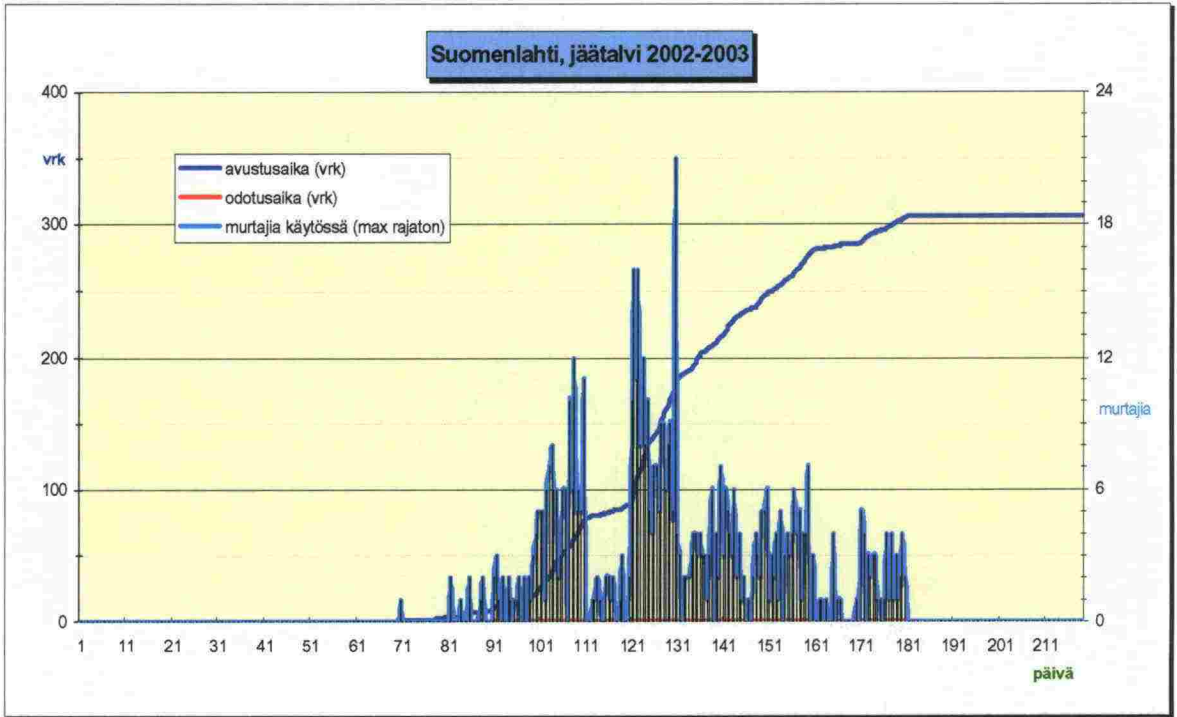
Neljän ja kolmen murtajan tapauksessa palvelutasoa on havainnollistettu odotusaikojen tarkastelulla. Kuvissa 37-38 on esitetty laivakohtaiset (1-suuntainen) odotusajat. Mallin mukaan neljän murtajan tapauksessa jäänmurtaja-apua odottamaan joutuneita oli 1 125 kpl, joista 26 % ylitti neljä

tuntia. Kolmen murtajan tapauksessa odottamaan joutuneita oli 1383 kpl, joista 39 % ylitti neljä tuntia.

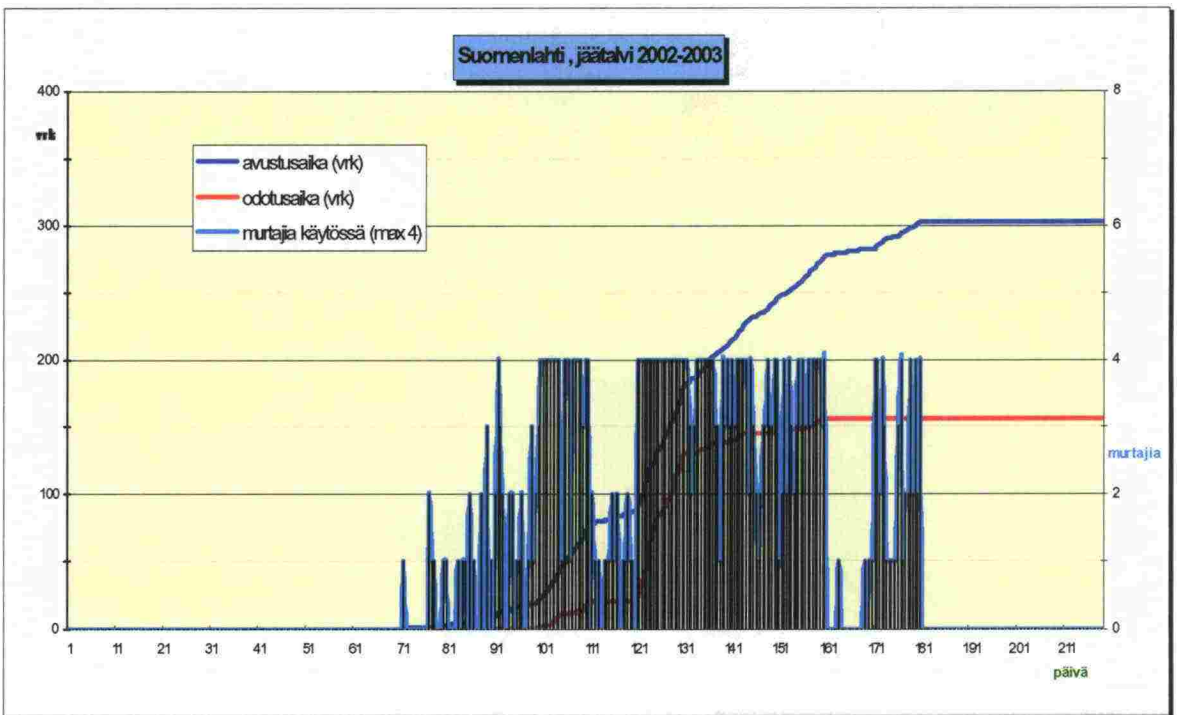
Kuten Perämeren mallin yhteydessä todettiin odotusaika reagoi herkästi avustusnopeuden muutokseen. Suomenlahden liikenne ajettiin mallissa myös Selkämeren avustusnopeudella 8,8 solmua. Avustusnopeuden nosto 0,6 solmulla vaikutti siten, että keskimääräinen odotusaika pieneni kolmen murtajan tapauksessa 4,5 tuntiin, mikä on 0,9 tuntia vähemmän kuin operoitaessa 8,2 solmun avustusnopeudella.



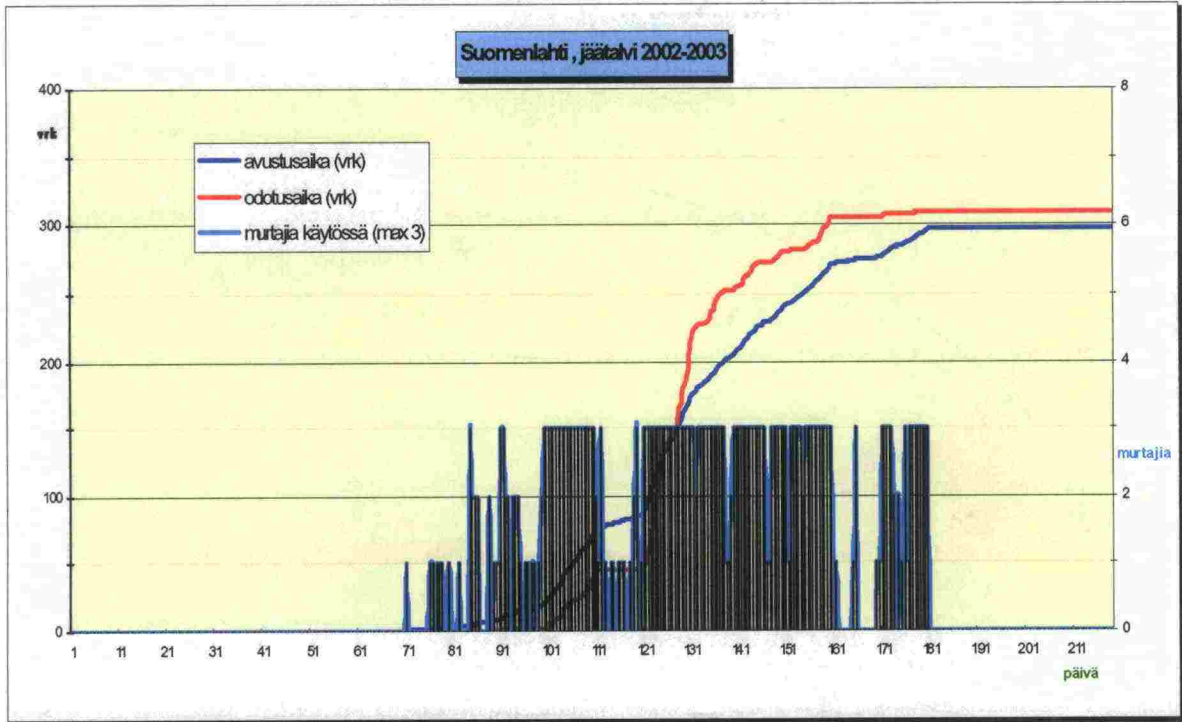
Kuva 33. Kauppalaivojen avustus- ja odotus- sekä murtajien antama avustusaika 2, 3, 4 ja 5 murtajan tapauksessa ja tilanteessa, jossa murtajia olisi rajoituksetta käytettävissä.



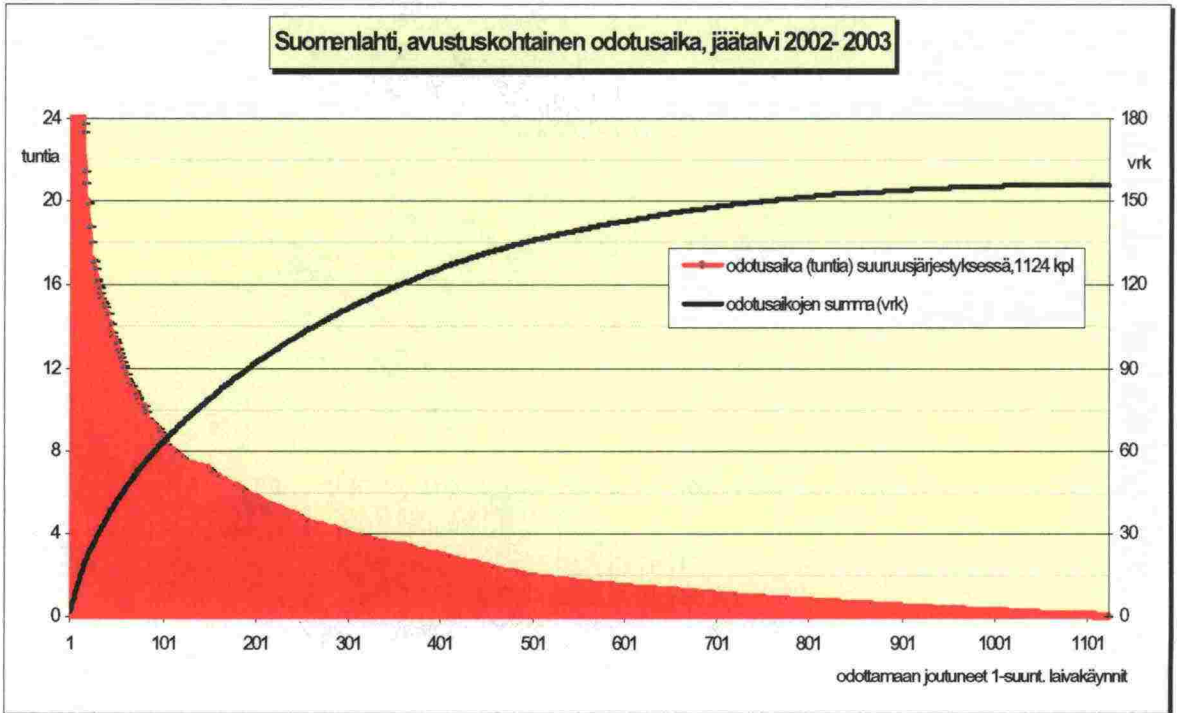
Kuva 34. Kauppalaivojen avustusaikakertymä sekä murtajien kuormitus. Teoreettinen tapaus, jossa murtajia käytössä rajattomasti.



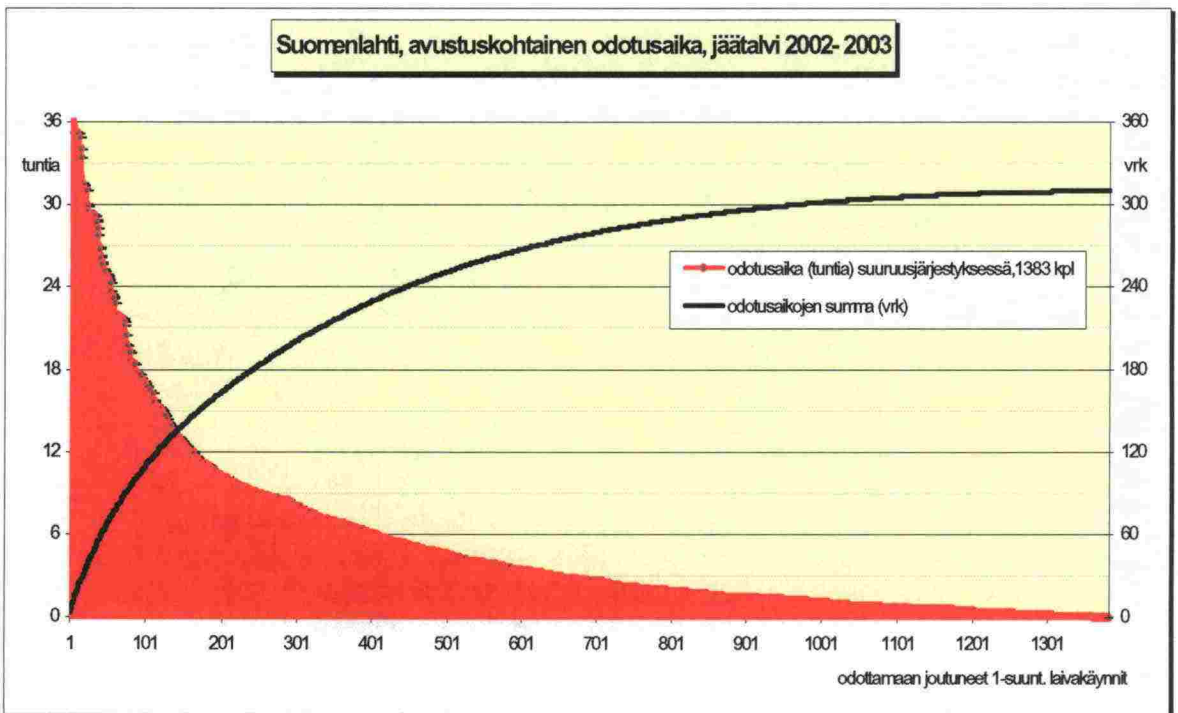
Kuva 35. Kauppalaivojen avustus- ja odotusaikakertymä sekä murtajien kuormitus, kun käytössä enintään 4 murtajaa.



Kuva 36. Kauppalaivojen avustus- ja odotusaikakertymä sekä murtajien kuormitus, kun käytössä enintään 3 murtajaa.



Kuva 37. Murtaja-apua odottamaan joutuneet 1-suuntaiset laivakäynnit ja odotusajat suuruusjärjestyksessä, 4 murtajaa.



Kuva 38. Murtaja-apua odottamaan joutuneet 1-suuntaiset laivakäynnit ja odotusajat suuruusjärjestyksessä, 3 murtajaa.

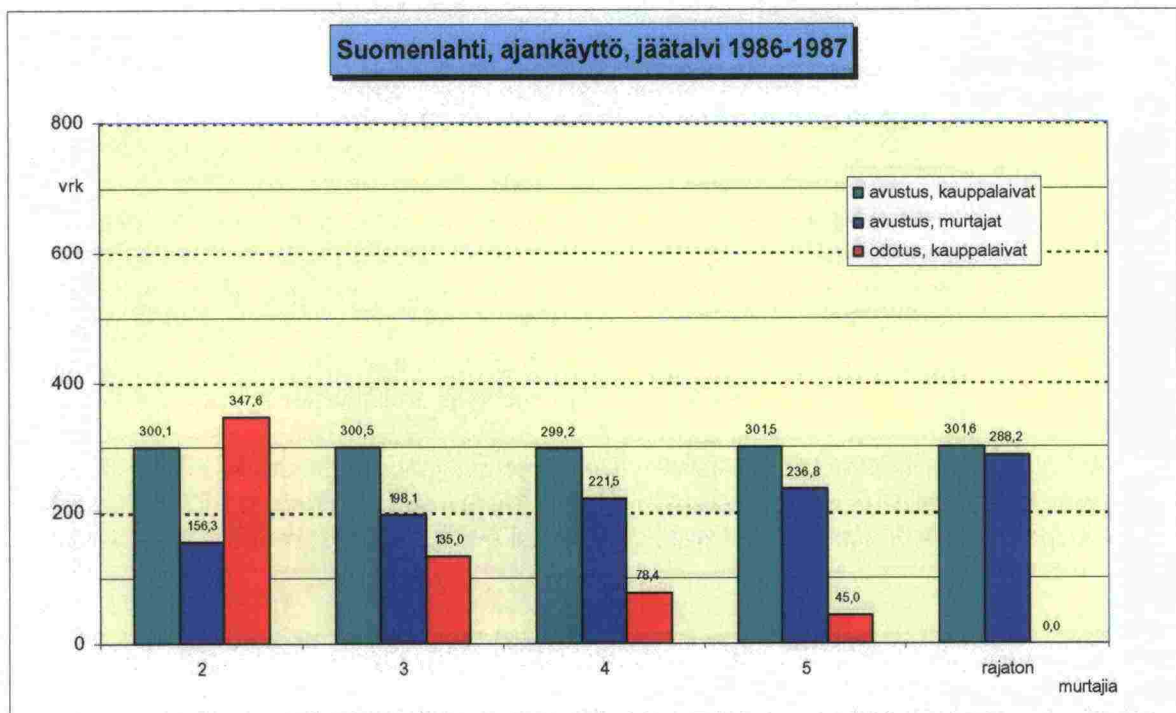
3.4.3 Suomenlahti, jäätalvi 1986-1987

Vaikka talvi 1986-87 oli kova, poikkesi se talvesta 2002-03 siten, että murtajatarve jakautui tasaisemmin koko talvelle. Talvella 2002-03 oli kaksi noin 10 vuorokauden jaksoa, jolloin murtajatarve oli poikkeuksellisen suuri.

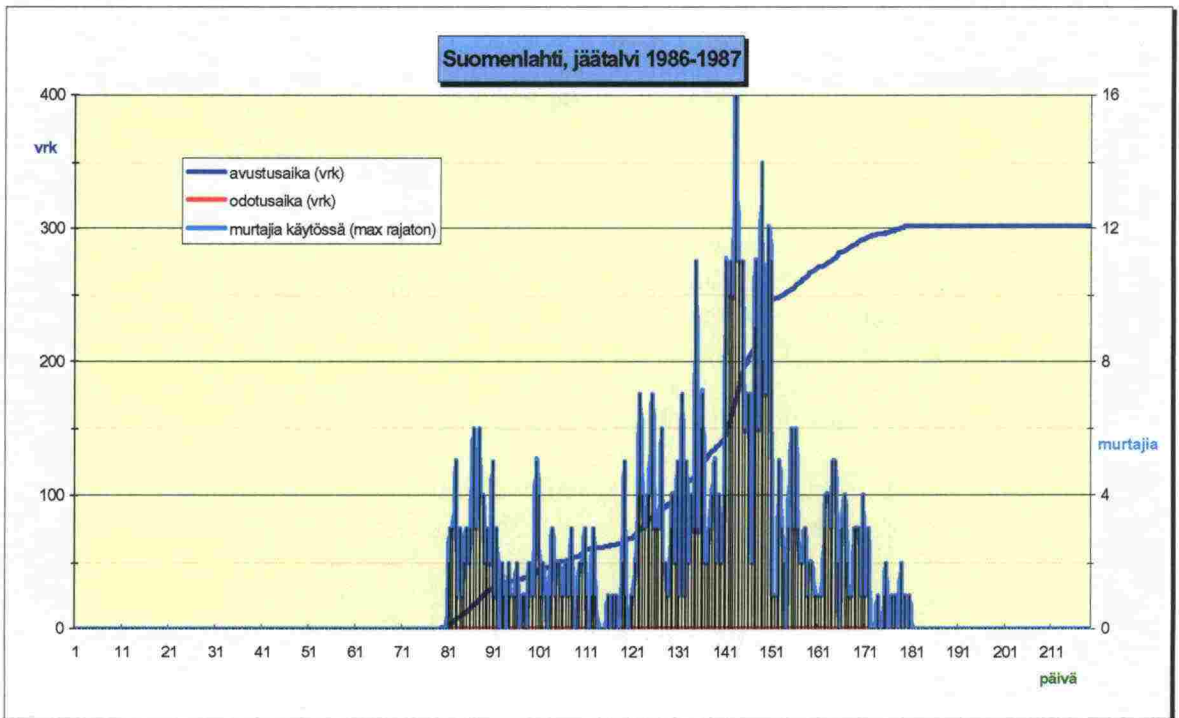
Talven 1986-87 olosuhteisiin sijoitettiin edellisen luvun mukainen liikennetiheys. Mallilla saatujen tulosten mukaan kolmen murtajan tapauksessa murtaja-apua odottamaan joutuneita oli 1444 yhdensuuntaista laivakäyntiä. Kuvan 39 mukaan murtajien antama avustusaika oli 198,1 vrk ja kauppa-alusten avustusaika 300,5 vrk ja odotusaika 135,0 vrk. Keskimääräinen odotusaika oli 2,2 tuntia ja odottamatta läpipäässeiden osuus 81,7 %. Neljällä murtajalla keskimääräinen odotus-aika olisi ollut 1,9 tuntia ja odottamatta läpipäässeiden osuus 87,2 %.

Jäänmurtajatarvetta suhteessa kauppalaivojen avustusaikaan ja odotusaikaan on havainnollistettu kuvissa 40-43. Teoreettinen tapaus paljastaa, että murtajatarve on tällä kertaa suurin noin päivien 130-150 välillä. Tällä aikavälillä, silloin kun murtajaresurssit ovat rajoitetut, odotusajan kertymä kasvaa nopeimmin.

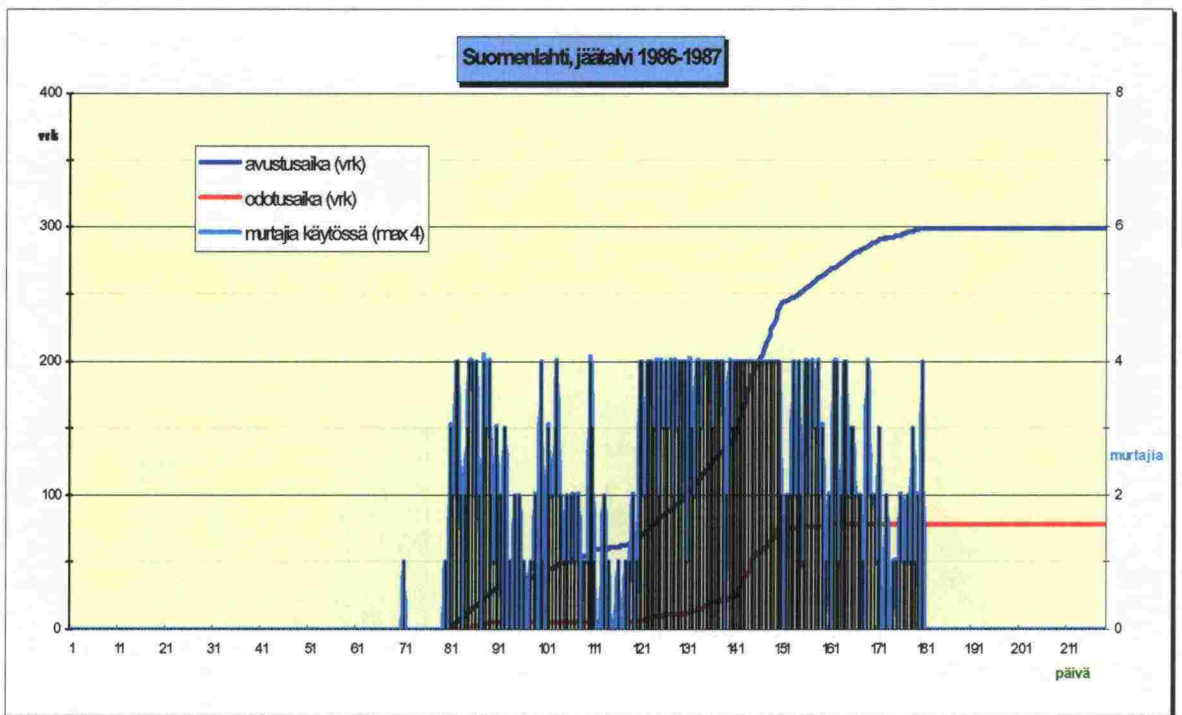
Laivakäyntikohtaisesti palvelutasoa on havainnollistettu odotusaikojen tarkastelulla. Kuvissa 44-46 on esitetty 1-suuntaiset odotusajat neljän, kolmen ja kahden murtajan tapauksessa. Kolmen murtajan tapauksessa jäänmurtaja-apua odottamaan joutuneita oli 1444 kpl, joista 15 % oli yli neljä tuntia. Neljän murtajan tapauksessa prosenttiosuus oli 10 % ja kahdella murtajalla 34 %.



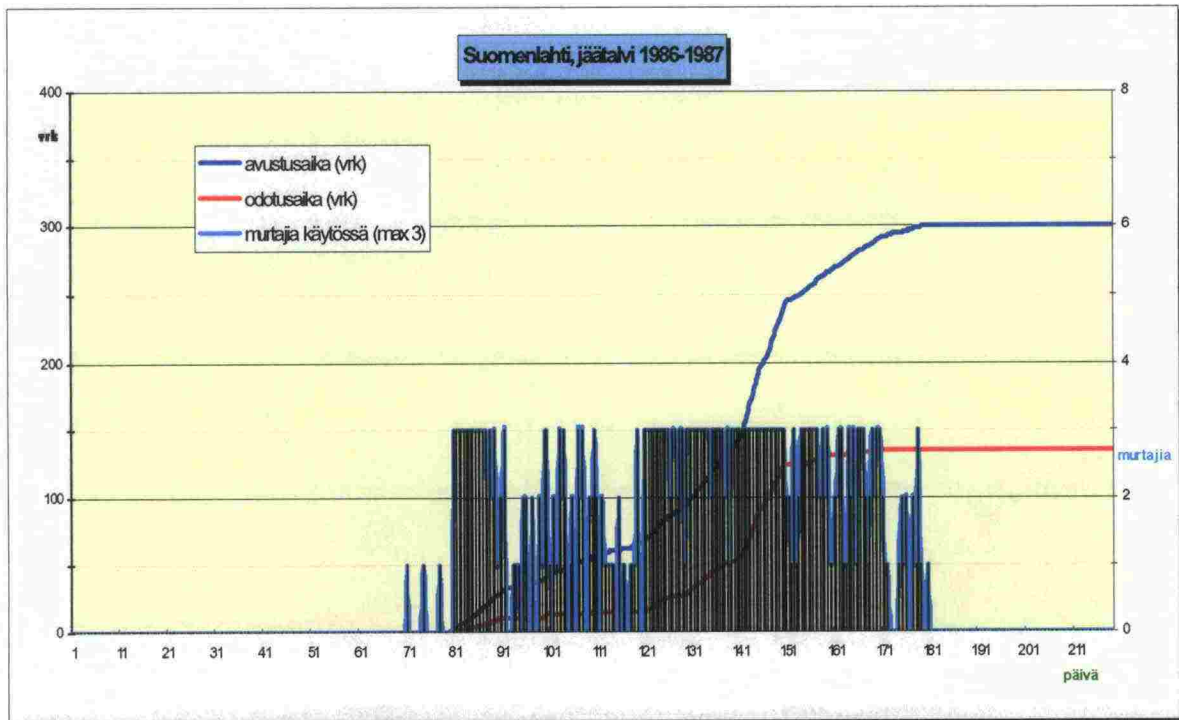
Kuva 39. Kauppalaivojen avustus- ja odotus- sekä murtajien antama avustusaika 1, 2 ja 3 murtajan tapauksessa ja tilanteessa, jossa murtajia olisi rajoituksetta käytettävissä.



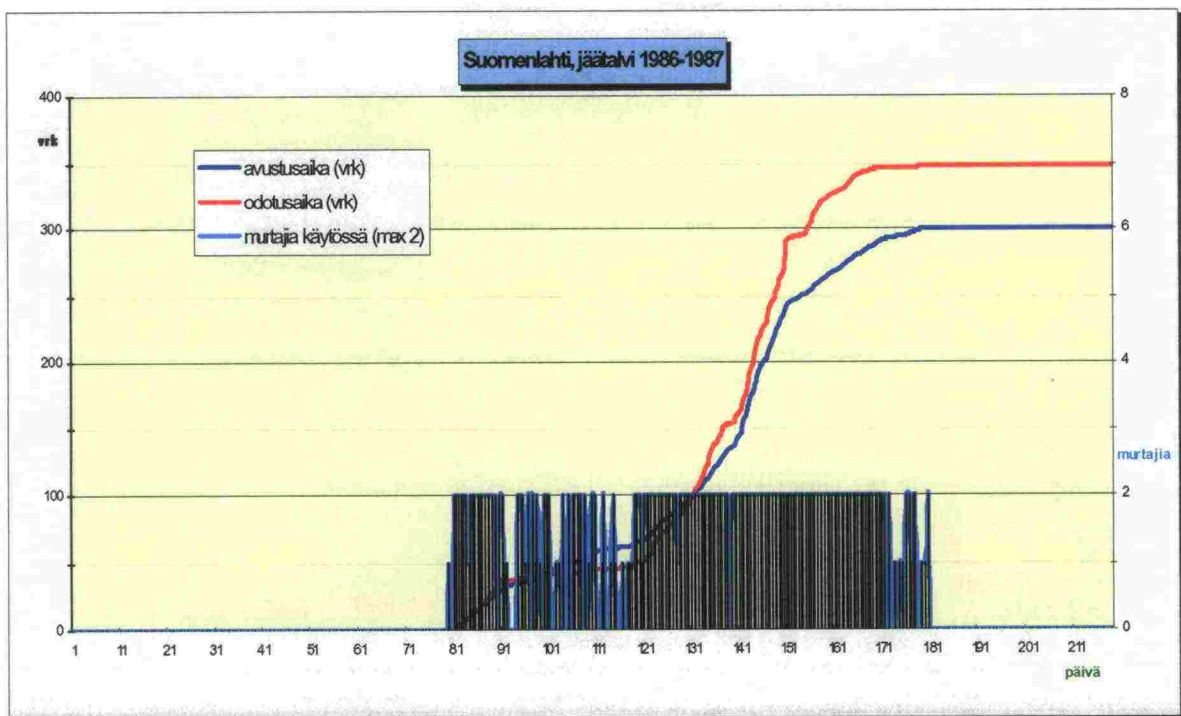
Kuva 40. Kauppalaivojen avustusaikakertymä sekä murtajien kuormitus. Teoreettinen tapaus, jossa murtajia käytössä rajattomasti.



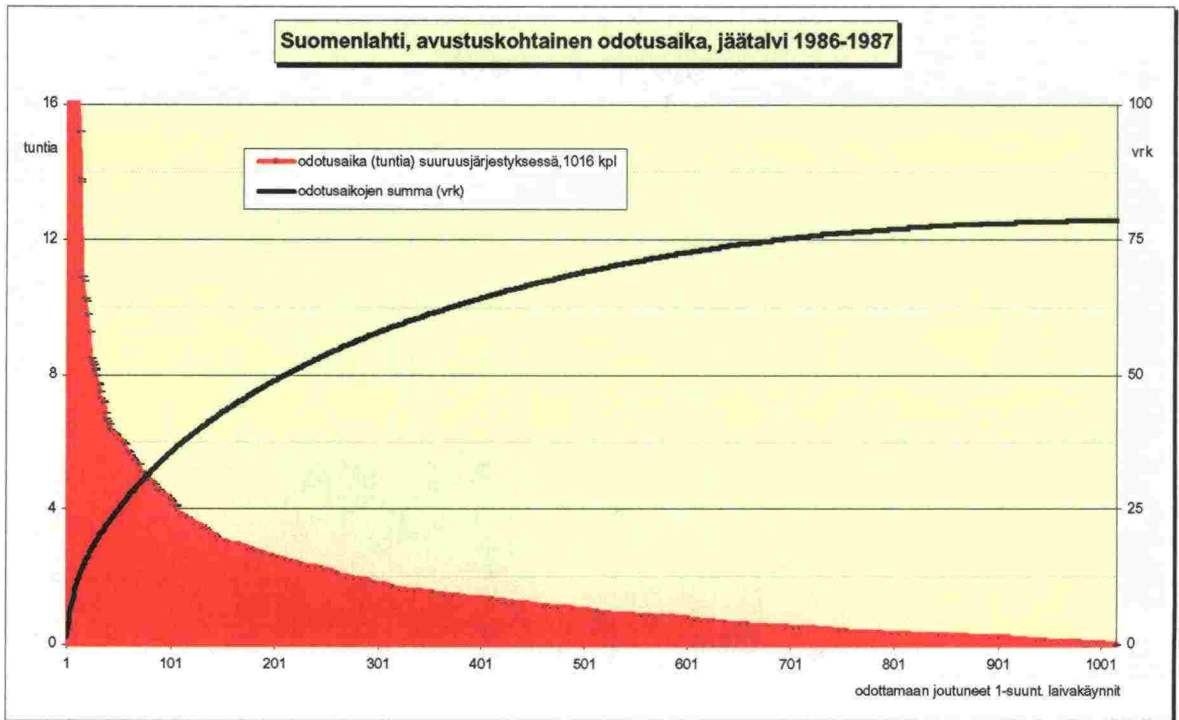
Kuva 41. Kauppalaivojen avustus- ja odotusaikakertymä sekä murtajien kuormitus, kun käytössä on enintään 4 murtajaa.



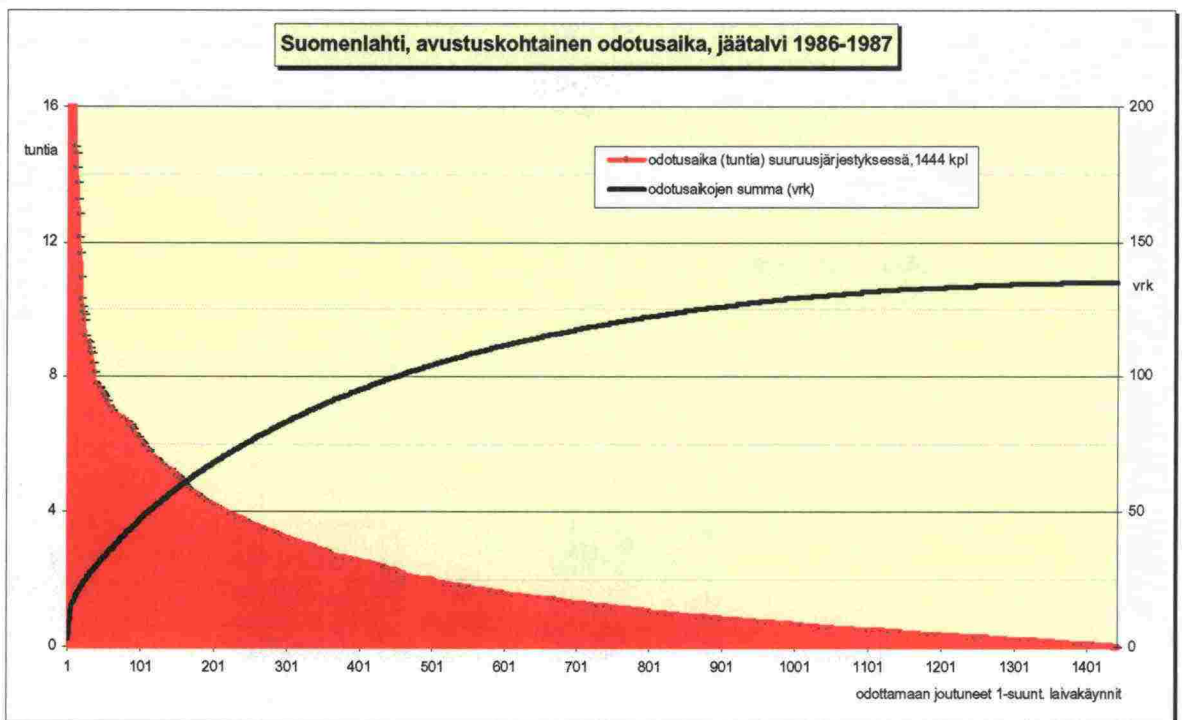
Kuva 42. Kauppalaivojen avustus- ja odotusaikakertymä sekä murtajien kuormitus, kun käytössä on enintään 3 murtajaa.



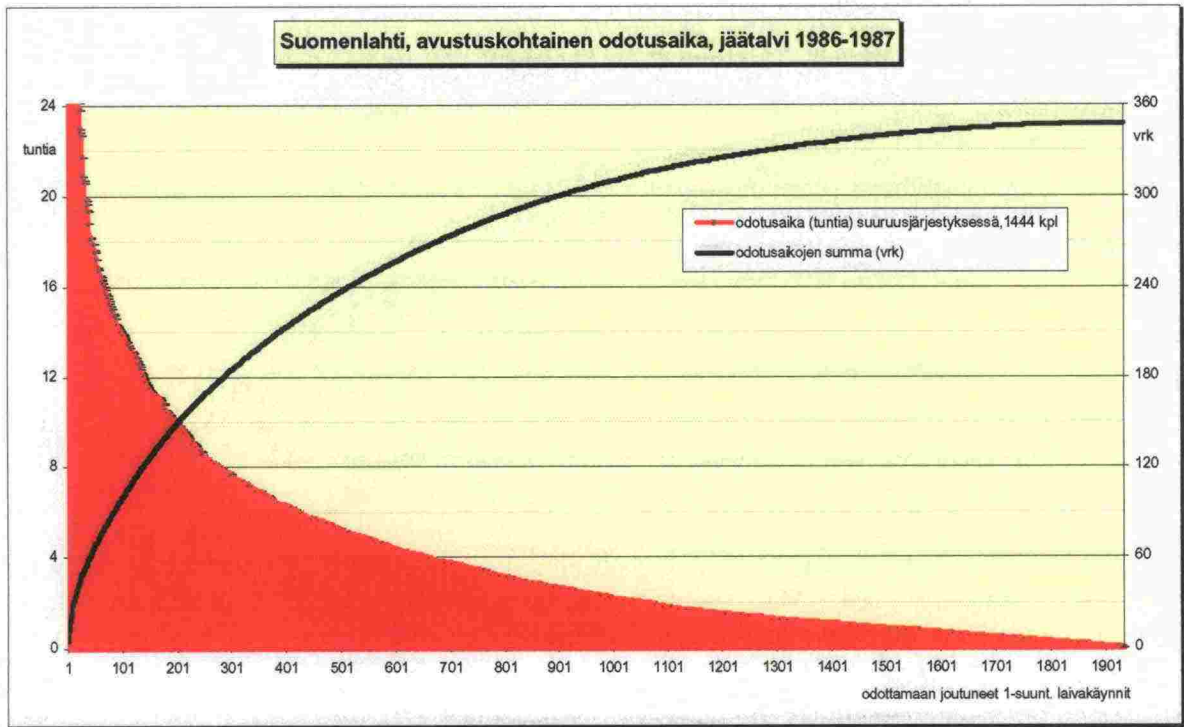
Kuva 43. Kauppalaivojen avustus- ja odotusaikakertymä sekä murtajien kuormitus, kun käytössä on enintään 2 murtajaa.



Kuva 44. Murtaja-apua odottamaan joutuneet 1-suuntaiset laivakäynnit ja odotusajat suuruusjärjestyksessä, 4 murtajaa.



Kuva 45. Murtaja-apua odottamaan joutuneet 1-suuntaiset laivakäynnit ja odotusajat suuruusjärjestyksessä, 3 murtajaa.



Kuva 46. Murtaja-apua odottamaan joutuneet 1-suuntaiset laivakäynnit ja odotusajat suurusjärjestyksessä, 2 murtajaa.

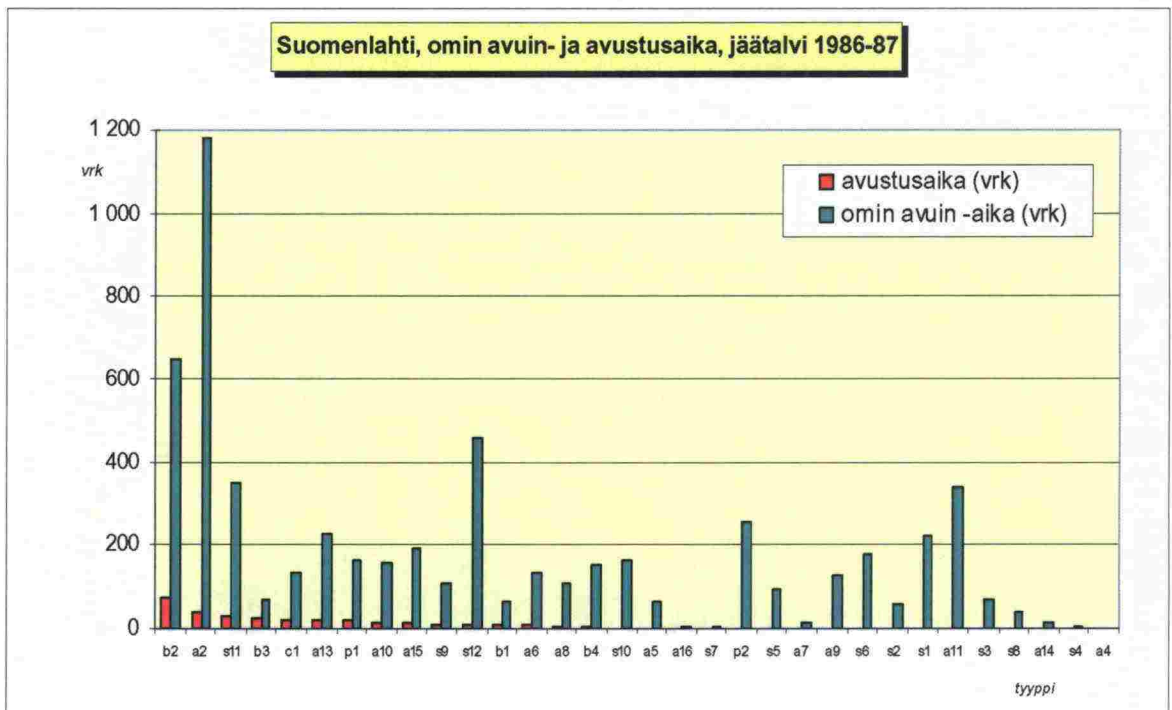
3.4.4 Suomenlahti, avustusaika ja tyyppilaiva

Tyyppilaivan jäissäkulkumuinaisuudet ovat luonnollisesti ratkaiseva tekijä murtajien avustusajan kokonaismäärässä. Asiaa on seuraavassa tarkasteltu Suomenlahden mallin jäätalven 1986-87 tulosten valossa. Murtajien lukumäärällä ei tässä ole juurikaan vaikutusta ja tarkastelu perustuikin tapaukseen, jossa murtaja on aina tarvittaessa käytössä. Suurin avustusmäärä (punainen pylväs) kohdistui tyyppille b2 kuvan 47 mukaisesti. Kuvassa on vihreillä pylväillä esitetty tyyppin omin avuin kulkema aika simulointiperiodin aikana.

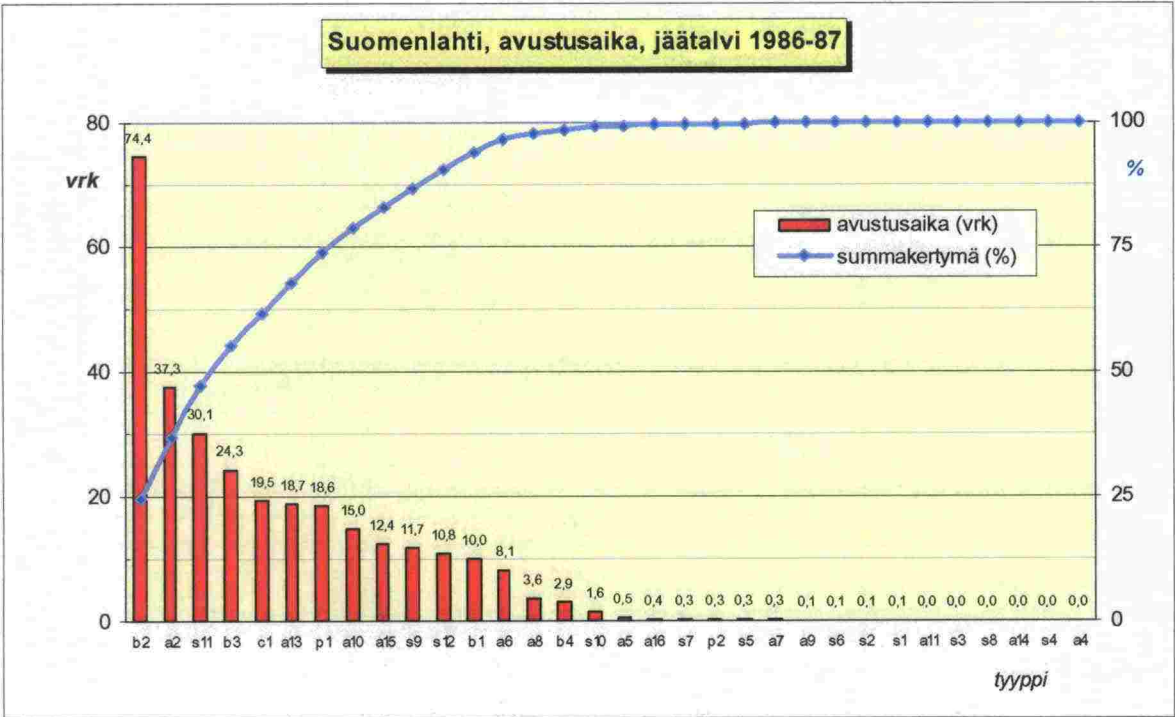
Kuvassa 48 murtajien antamasta avustusajasta 50 % jakautui kolmelle tyyppilaivalle (b2, a2, s11) osuuden prosenttisen summakäyrän mukaisesti.

Edelleen voidaan havainnollistaa avustusajan osuutta tyyppilaivan kokonaiskulkuajasta (omin avuin + avustus). Kuvan 49 mukaisesti tyyppillä b3 osuus on suurin, 25,7%. Toiseksi suurin osuus on tyyppillä b1 13,4% ja kolmanneksi suurin tyyppillä c1 12,9%.

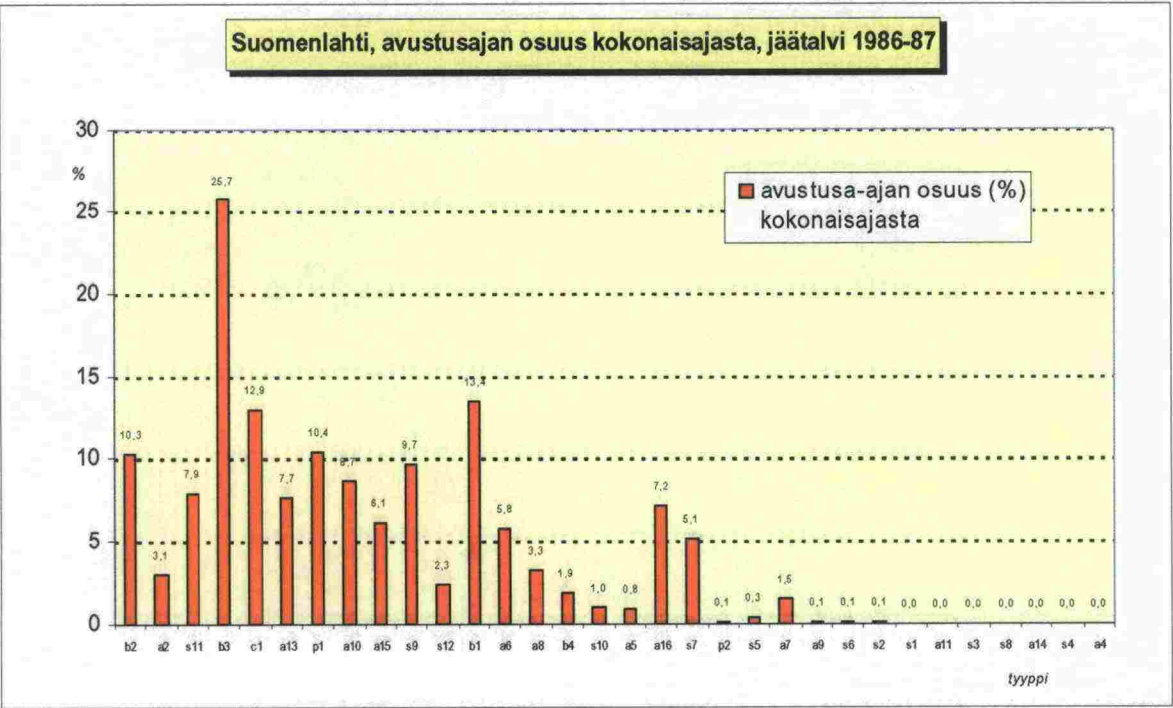
On kuitenkin muistettava, että edellä esitetyt absoluuttiset ja suhteelliset osuudet eivät ole minkään todellisen tilanteen tuloksia. Mallin laivakäynnit perustuvat vuoden 2000-01 mukaisen Suomenlahden liikenteen jakaumaan ja näin generoitu liikenne on sijoitettu talven 1986-87 mukaisiin jääoloihin.



Kuva 47. Avustusaika ja omin avuin -aika tyyppilaivan avustusajan mukaisessa suurusjärjestyksessä.



Kuva48. Avustusaika suuruusjärjestyksessä tyypeittäin ja avustusosuuden prosenttinen summaker-
tymä.



Kuva 49. Avustusaajan osuus tyyppilaivan kokonaiskulkuajasta.

3.4.5 Suomenlahti, yhteenveto

Taulukkoon 8 on yhteenvetona koottu 1-suuntaisen laivakäynnin ajankäyttöä ja palvelutasoa kuvaavat tunnusluvut kummankin jäätalven olosuhteissa eri murtajakapasiteetilla. Avustusnopeus on ollut 8,2 solmua. Puristusvaikutus on ollut 11 päivänä, jolloin kauppa-aluksen nopeus on puolittunut.

Taulukko 8. Yhdensuuntaisen laivakäynnin ajankäyttöä ja palvelutasoa kuvaavat tunnusluvut.

jäätalvi	murtajia	avustus- nopeus (solmua)	ajankäyttö, vrk							
			omin avuin	avustus	odotus	avustus, murtajat	avustettuja 1- suuntaisia laiva- käyntejä	odottaneita 1- suuntaisia laiva- käyntejä	keskim. odotus-aika (tuntia)	odotta-matta läpikässi- neet avustus- aikana %
2002-2003	rajaton	8,2	5 835,2	305,7	0,0	295,4	1 934	0	0,0	100,0
2002-2003	5	8,2	5 836,3	304,2	95,2	240,4	1 931	881	2,6	89,0
2002-2003	4	8,2	5 836,0	302,7	155,9	220,9	1 932	1 124	3,3	85,9
2002-2003	3	8,2	5 836,1	297,1	309,9	196,3	1 923	1 383	5,4	82,7
2002-2003	2	8,2	5 839,5	294,3	701,7	152,7	1 912	1 621	10,4	79,7
1986-1987	rajaton	8,2	5 791,9	301,6	0,0	288,2	2 439	0	0,0	100,0
1986-1987	5	8,2	5 791,6	301,5	45,0	236,8	2 438	715	1,5	90,9
1986-1987	4	8,2	5 791,9	299,2	78,4	221,5	2 426	1 016	1,9	87,2
1986-1987	3	8,2	5 792,2	300,5	135,0	198,1	2 411	1 444	2,2	81,7
1986-1987	2	8,2	5 789,2	300,1	347,6	156,3	2 323	1 935	4,3	75,5

3.5 Yhteenveto Perämeren, Selkämeren ja Suomenlahden malleista

Suomen merialueen talviliikenteen simulointi on käytännön syistä jaettu kolmeen osaan (Perämeren, Selkämeren ja Suomenlahden malli), koska merialueet ovat avustustoiminnaltaan toisistaan lähes riippumattomia. Johtopäätökset koko Suomen merialueen osalta samanaikaisena tarkasteluna ovat silti tehtävissä. Tämän tutkimuksen puitteissa samanaikainen tarkastelu voidaan suorittaa vain kovan talven eli talven 1986-87 kohdalta.

Tarkastellaan yhdeksän jäänmurtajamme sijoittelua tilanteeseen, joka noudattaa talven 2000-01 mukaista liikennettä talven 1986-87 kaltaisissa olosuhteissa. Sijoitetaan murtajista kolme esimerkiksi Suomenlahdelle, kaksi Selkämerelle ja neljä Perämerelle. Esimerkki osoittaa, että näillä liikennemäärillä talven 1986-87 mukaisissa jääoloissa Pohjanlahdella palvelutaso on riittämätön: keskimääräinen laivakohtainen odotusaika on Selkämerellä 17,4 t ja Perämerellä 13,3 t. Vaikka Suomenlahdelta siirrettäisiin yksi jäänmurtaja Selkämerelle, jolloin keskimääräinen odotusaika myös Suomenlahdella nousee yli 4 tuntiin, alenee Selkämeren odotusaika vain 9 tuntiin ja on Perämerellä edelleen 13,3 tuntia.

5 Johtopäätökset

Tutkimuksessa on kehitetty strateginen työkalu Suomen merialueen jäänmurtotarpeen tarkastelemiseksi tilanteissa, joissa mm. jääolosuhteet, väylä- ja satamaverkko, liikenteen määrä ja laivojen jäissäkulkuominaisuudet voivat vaihdella. Meriliikenteen simulointimallin avulla saadut tulokset ovat osoittautuneet Perämeren kohdalla varsin tarkoiksi ja yhtäpitäviksi referenssitapauksen eli talvesta 2000-01 käytettävissä olevien todellisten tilastoitujen tietojen kanssa. Samoin myös Selkämeren ja Suomenlahden referenssitälven 2002-03 tulosten vastaavuus toteutuneisiin on hyvä.

Perämeren mallissa simuloinnit keskimääräisenä ja kovana talvena osoittavat huomattavasti suuremman jäänmurto- ja avustustarpeen kuin toteutui referenssitälvenä 2000-2001, joka oli leuto. Perämeren alueelle liikenne pystytään yleensä hoitamaan Kaskisiin asti 5 murtajalla. Kovana talvena odotusaikojen tason säilyttäminen edellyttäisi alueella 6 murtajaa. Mallissa ei ollut mukana liikennettä Ruotsin satamiin muuten kuin säännöllisenä poikittaisliikenteenä Suomen ja Ruotsin välillä.

Selkämeren kohdalla simulointi osoittaa, että keskimäärin talvena 2002-03 riitti kaksi murtajaa, mutta 1986-87 -tyyppisenä talvena ja nykyliikenteellä siellä edellyttäisiin neljä murtajaa, jolloin vasta päästäisiin kohtuulliseen 4,5 tunnin laivakohtaiseen keskimääräiseen odotusaikaan.

Suomenlahden kohdalla referenssitälvi 2002-03 oli liikenteellisesti vaikeampi kuin kova talvi 1986-87. Kun talvella 2002-03 odotusaika 3 murtajan tapauksessa oli 5,4 tuntia, olisi se talvella 1986-87 ollut vain 2,2 tuntia. Suomenlahden suhteessa vähäisempää avustustarvetta selittää pitkä saaristoväyläosuus. Toisaalta tulee huomioda, että laajan jääpeitteen talvena avustusta saatetaan tarvita jo etelämpänä kuin mallissa olevassa laivojen sisääntulopisteessä.

Kokonaisuutena merkittävin tulos on todettavissa, kun tarkastellaan nykyliikennettä kovan talven 1986-87 olosuhteissa samanaikaisesti koko Suomen kannalta. Tällöin osoittautuu, että vaikka tyydyttäisiin viime talvena 2002-03 toteutuneeseen palvelutasoon eli noin 6 tunnin keskimääräiseen kauppalaivan odotusaikaan, ei se nykyisellä 9 murtajan laivastolla onnistuisi, vaan Pohjanlahdella jouduttaisiin 9-13 tunnin odotusajoihin.

Eri tekijöiden vaikutuksia on toistaiseksi tutkittu esimerkin omaisesti vain jollakin merialueista, mutta ne antavat kuitenkin käsityksen kunkin muutoksen vaikutuksen suunnasta ja suuruusluokasta.

Perämeren mallilla varioitiin jäänmurtajien avustusnopeutta 8-12 solmun välillä, jotta nähtäisiin mitä avustusnopeuden muutos vaikuttaa. Talvena 2000-01 toteutunut keskimääräinen avustusnopeus oli 10,8 solmua, jota on käytetty toteutuneen tiedon puuttuessa oletettuna avustusnopeutena myös keskimääräisen ja kovan talven simuloinneissa. Ajot keskimääräisenä talvena osoittavat, että avustusnopeuden laskiessa 10 solmuun ja sen alle vaikutus kauppalaivojen odotusajoihin kasvaa voimakkaammin niin, että avustusnopeuden pudotessa 11 solmusta 9 solmuun odotusaika lähes kaksinkertaistuu. Vastaavasti jos Suomenlahdella talvella 2002-03 toteutunut avustusnopeus 8,2 solmua olisi voitu nostaa 8,8 solmuun, olisi vaikutus laivojen odotusaikaan ollut 0,9 tuntia.

Perämeren tulevaa kehitystä arvioitiin kasvattamalla laivaliikennettä 10 % nykyisestä. Tämä lisää selvästi tarvittavaa avustusta ja vastaa lähes yhden murtajan lisätarvetta keskimääräisenä talvena. On odotettavissa, että tulokset olisivat samansuuntaisia myös Selkämeren ja Suomenlahden kohdalla.

Itsenäisesti kulkevan alustyyppin vaihtaminen Raahe-Luulaja välille osoitti 5 murtajan tapauksessa noin kahden tunnin vähennystä keskimääräisen talven laivakäyntikohtaiseen odotusaikaan. Se vastaa noin yhden jäänmurtajan vähennysmahdollisuutta. Jo tämä esimerkki näyttää, että itsenäisesti jäissäkulkuun kykenevän aluskannan lisäämisellä voidaan merkittävästi vaikuttaa tarvittavaan murtajien lukumäärään. Yleisesti on myös nähtävissä, että avustustarve kohdistuu epätasaisesti eri tyyppilaivoille. Suomenlahdella tarkastellussa tapauksessa 3 tyyppilaivaa 33:sta vaati noin puolet koko annetusta avustusajasta.

Koska referenssitalvena 2000-01, joka oli leuto, myös talvisatamiin lukeutumattomaan Kalajoen Rahjaan oli avustusta, sisällytettiin se Perämeren simulointimalliin. Näin voitiin tarkastella myös talvisatamien lukumäärän muutoksen vaikutusta avustustilanteeseen. Keskimääräisenä talvena Rahjan 57 laivakäyntiä kasvattaa murtajien avustusaikaa noin 9 vuorokautta ja kauppalaivojen odotusaikaa noin 30 vuorokautta. Keskimääräiseen laivakäyntikohtaiseen odotusaikaan vaikutus on noin puoli tuntia

Työssä kehitetyt mallit antavat mahdollisuuden selvittää jäänmurtotoimintaan vaikuttavia tekijöitä. Näin voidaan helpottaa päätöksentekoa ja valita suuntaviivoja mihin infrastruktuuria kannattaa kehittää. Painottamalla esimerkiksi toimintaa siten, että se suosii hyvin itsenäisesti jäissä selviäviä aluksia, voidaan saavuttaa sekä laivanvarustajille, rahdinkuljettajille että myös yhteiskunnalle merkittäviä säästöjä.

Lähdeluettelo

- [1] MKL: *Alusrekisteri*
- [2] MKL, PortNet: *Satamatilastot vuodelta 2000*
- [3] Merentutkimuslaitos: *Jääkartat 1986, 1987, 1992, 1993, 2000 ja 2001.*
- [4] *Climatological Ice Atlas for the Baltic Sea, Kattegat, Skagerrak and Lake Vänern (1963-1979)*, Swedish Meteorological and Hydrological Institute ja Merentutkimuslaitos.

Reittipisteet Suomenlahden mallissa.

Suomenlahden malli		LAT	LATM	LON	LONM
Malli alkaa	A0	59	10	21	45
	A1	59	25	22	35
Porkkala	A2	59	48	24	5
Naissaar	A3	59	45	24	25
Tallinn madal.	A4	59	47	24	46
Sköldvik in	A5	59	52	25	28
10S Tiiskeri	A6	60	0	26	16
2P Rodser	A7	60	0	26	40
Suursaari	A8	59	58	27	3
Someri	A9	60	11	27	46
Seiskari	A10	60	5	28	23
	A11	60	2	29	4
Leninec	A12	60	2	29	26
Pietari	PIE	59	53	30	10
Hanko1	HA1	59	44	23	4
HANKO	HKO	59	49	22	57
	KV1	59	50	23	18
KOVERHAR	KVH	59	53	23	14
	IN1	59	56	24	11
INKOO	INK	60	1	23	55
sisäväylä 1	S1	59	56	24	21
sisäväylä 2	S2	60	6	24	50
sisäväylä 3	S3	60	7	24	59
sisäväylä 4	S4	60	10	25	14
sisäväylä 5	S5	60	14	25	35
sisäväylä 6	S6	60	11	25	36
sisäväylä 7	S7	60	10	26	6
sisäväylä 8	S8	60	16	26	8
Sisäväylä 9	S9	60	18	26	23
sisäväylä 10	S10	60	26	26	55
sisäväylä 11	S11	60	20	27	8
sisäväylä 12	S12	60	26	27	50
Sisäväylä 13	S13	60	30	28	22
VIIPURI	VII	60	42	28	45
HELSINKI	HEL	60	10	24	55
SKÖLDVIK	SKV	60	18	25	33
ORRENGRUND	ORR	60	15	26	27
LOVIISA	LOV	60	25	26	16
	KT1	60	16	26	53
KOTKA	KTK	60	26	26	56
HAMINA	HMN	60	34	27	12
VYSOTSK WP	VYS	60	38	28	34
	PR1	60	11	28	43
	PR2	60	15	28	48
PRIMORSK	PRI	60	20	28	43
PALDISKI	PAL	59	21	24	3
	TA1	59	37	24	40
TALLINNA	TAL	59	27	24	45
	MU1	59	33	25	3
MUUGA	MUU	59	30	24	57
KUNDA	KUN	59	31	26	33
USTLUGA	UST	59	40	28	20
UURAS	UUR	60	38	28	35
Västra Balkan	VBA	60	5	25	19
Tjärhäll	TJA	60	8	25	19
Vuosaari	VUO	60	13	25	11

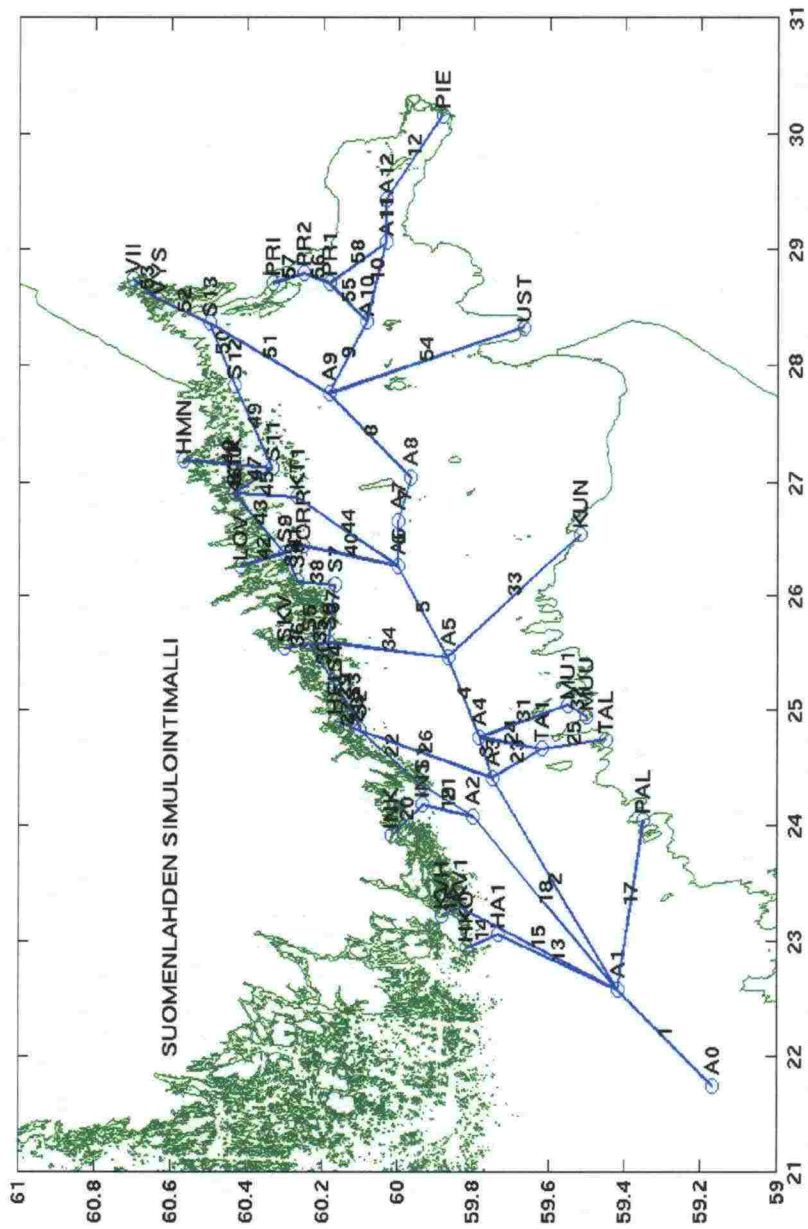
Reittipisteet Selkämeren mallissa.

Selkämerimalli		LAT	LATM	LON	LONM
LATITUDE 59	L59	59	0	20	38
SVENSKA BJÖRN	SWB	59	33	20	0
UTÖ	UTO	59	47	21	20
UNDERSTEN	UND	60	15	19	0
KALSAARI	KSA	60	17	21	45
RAJAKARI	RAJ	60	23	22	6
TURKU	TKU	60	26	22	13
NAANTALI	NLI	60	27	22	4
GRU	GRU	60	30	19	0
Aland North	ALN	60	40	19	50
ISOKARI	ISO	60	42	21	0
UUSIKAUPUNKI	UKI	60	48	21	23
SANDBÄCK	SAN	60	49	20	44
KAJAKULMA	KAJ	61	2	21	5
RIHTINIEMI	RIH	61	5	21	17
RAUMA SATAMA	RAU	61	8	21	26
Rauma LH	RLH	61	9	21	0
Rauma out	ROU	61	6	20	53
SÄPPI LH	SAP	61	33	21	15
MÄNTYLUOTO	POR	61	36	21	27
LATITUDE 62	L62	62	5	20	31
Maarianhamina	MAR	60	5	19	56
Tukholma	STO	59	19	18	6

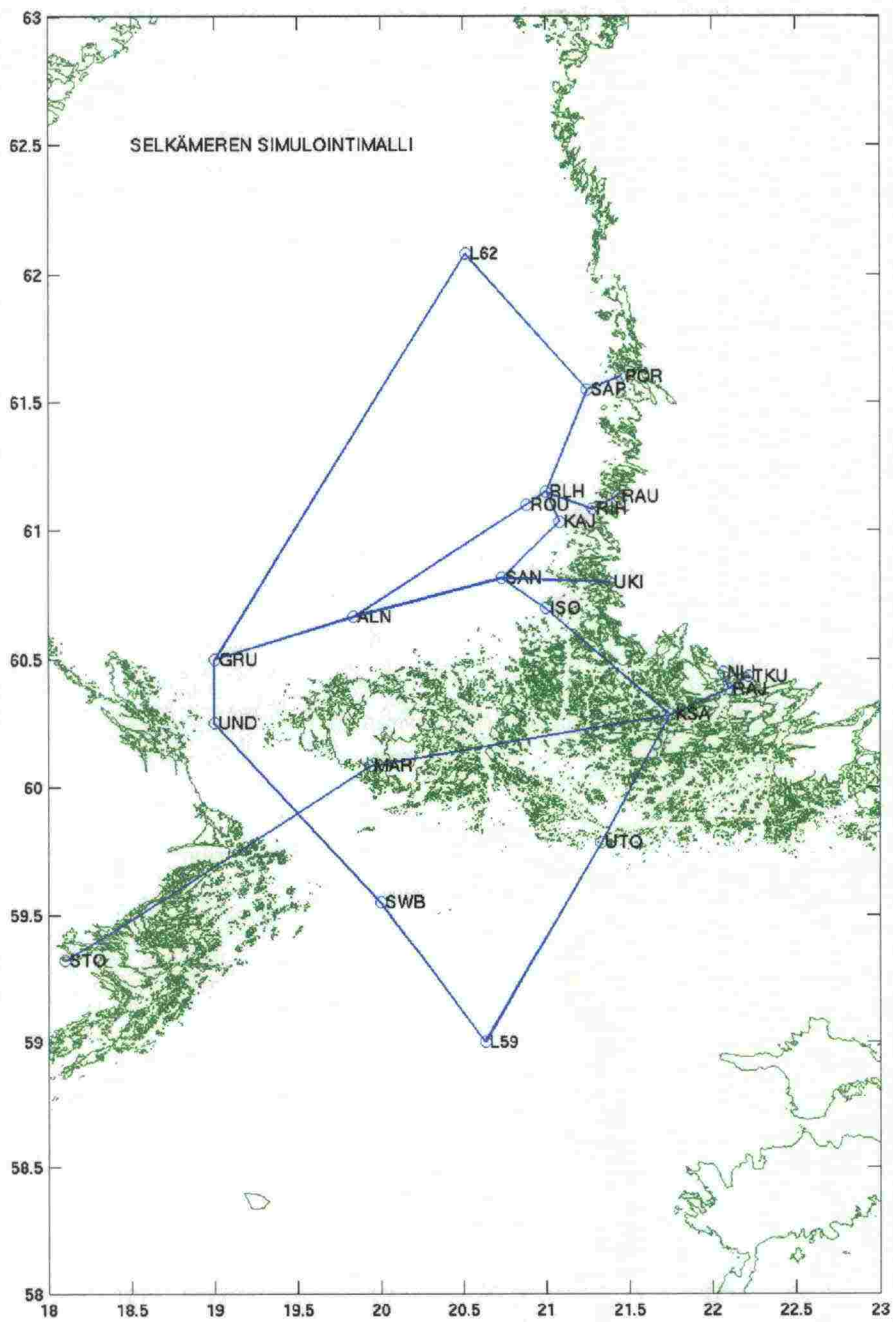
Reittipisteet Perämeren mallissa.

Runkoväylä			N		E	
1	KAS	Kaskisen edusta	62	15	20	31
2	SYD	Sydöstbrotten (90: 7mpk)	63	20	20	31
3	NOV	Nordvalen (67: 10mpk)	63	35	21	0
4	KAL	Kallan (270: 15mpk)	63	45	21	57
5	KOA	Kokkola, majakka (270: 10mpk)	64	0	22	30
6	ULK	Ulkokalla (270: 8mpk)	64	20	23	8
7	NAH	Nahkiainen (270: 4mpk)	64	36	23	43
8	BO	Botnia, poiju (Oulu1: 270: 18 mpk)	65	12	23	49
9	KE1	Kemi1	65	23	24	11
10	KE2	Kemi2	65	31	24	23
Ruotsin runkoväylä						
11	BJK	Bjuröklubb (90' 5mpk)	64	29	21	46
12	FAR	Farstugrunden (90' 4mpk)	65	20	22	54
Satamaväylät						
13	KSL	Kaskinen luotsipaikka	62	15	21	5
14	KSS	Kaskinen, satama	62	23	21	13
15	ENS	Ensten	63	7	21	10
16	VAA	Vaasa, satama	63	6	21	32
17	KLL	Kallan, luotsiasema	63	45	22	32
18	PIE	Pietarsaari, satama	63	43	22	42
19	AKE	Akeblom	64	0	22	51
20	KOK	Kokkola, satama	63	51	23	2
21	RAH	Rahja, satama	64	15	23	42
22	RHF	Raahe, majakka	64	39	24	20
23	RAA	Raahe, satama	64	40	24	25
24	OU1	Oulu 1	65	12	24	30
25	LIB	Liberta	65	8	24	45
26	HIE	Hietakari	65	6	25	7
27	OUL	Oulu, satama	65	0	25	23
28	RIS	Ristinmatala	65	36	24	29
29	KEM	Kemi, satama	65	44	24	35
30	TOR	Tornio, satama	65	46	24	9
Ruotsin satamaväylät						
31	UME	Uumaja	63	42	20	21
32	SKE	Skelleftehamn	64	41	21	15
33	LUL	Luulaja	65	34	22	10

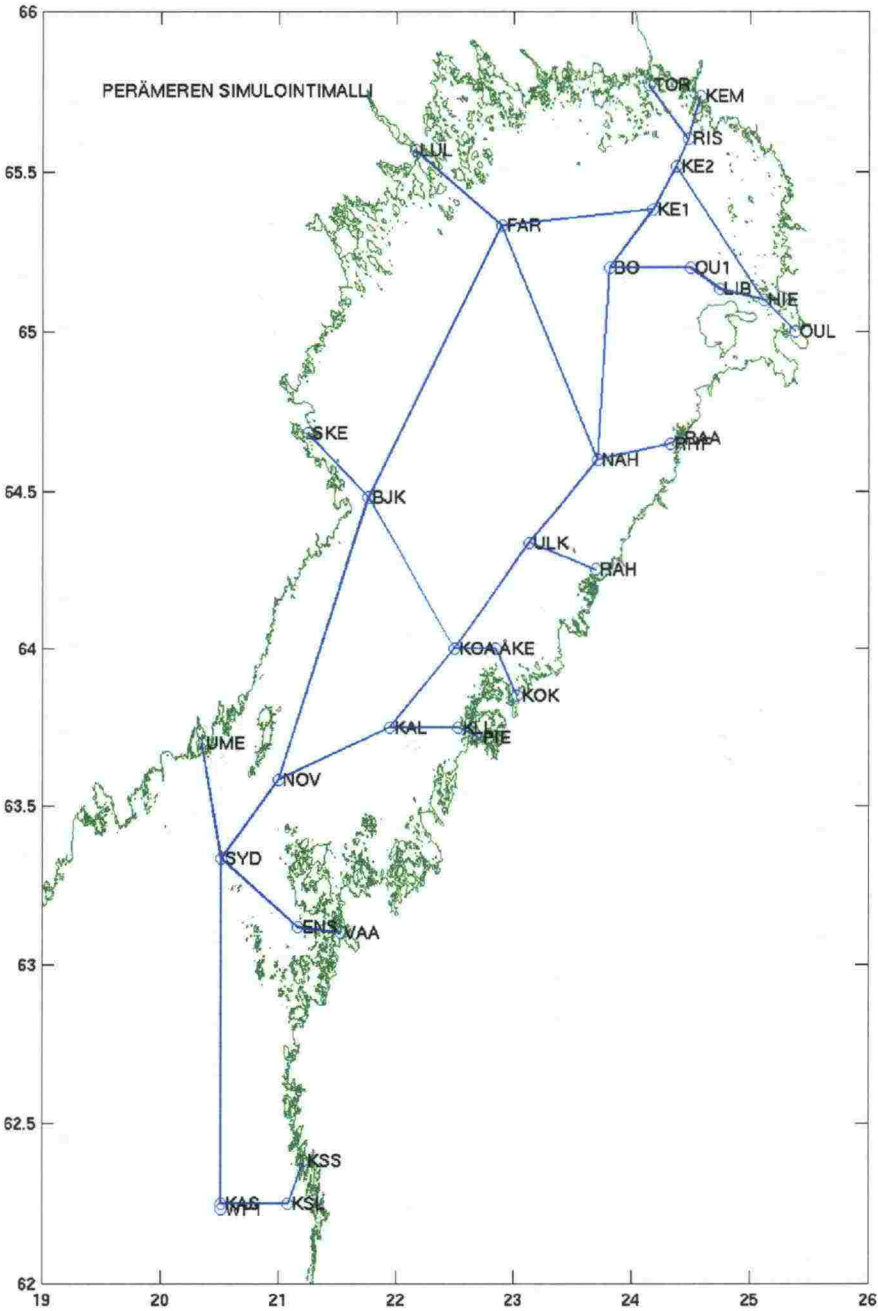
Geologinen kartta Suomenlahden simulointimallista



Geologinen kartta Selkämeren simulointimallista



Geologinen kartta Perämeren simulointimallista



R2 Jääprofiilit

Talvi 2000
Profiili: NAH-BO

Päivämäärä	1/11	11/11	21/11	1/12	11/12	21/12	1/1	11/1	21/1	1/2	11/2	21/2	1/3	11/3	21/3
Jään paksuus (cm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	25	30	35	25
Jään Peittoisuus (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98	98	98	98	98	98
Vallintumisaste	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0	0	0.25	0.25
Vallitheyys (1/km)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0	0.875	0.625
Vallikorkeus (cm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	50	40

Keskimääräinen talvi
Profiili: NAH-BO

Päivämäärä	1/11	11/11	21/11	1/12	11/12	21/12	1/1	11/1	21/1	1/2	11/2	21/2	1/3	11/3	21/3
Jään paksuus (cm)	0	0	0	0	0	0	10	25	30	35	40	45	50	55	55
Jään Peittoisuus (%)	0	0	0	0	0	0	60	75	85	85	95	95	95	95	95
Vallintumisaste	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Vallitheyys (1/km)	0	0	0	0	0	0	0	1.25	3	4.2	7.2	9.45	10.5	11.55	9.9
Vallikorkeus (cm)	0	0	0	0	0	0	0	40	45	50	55	60	65	70	70

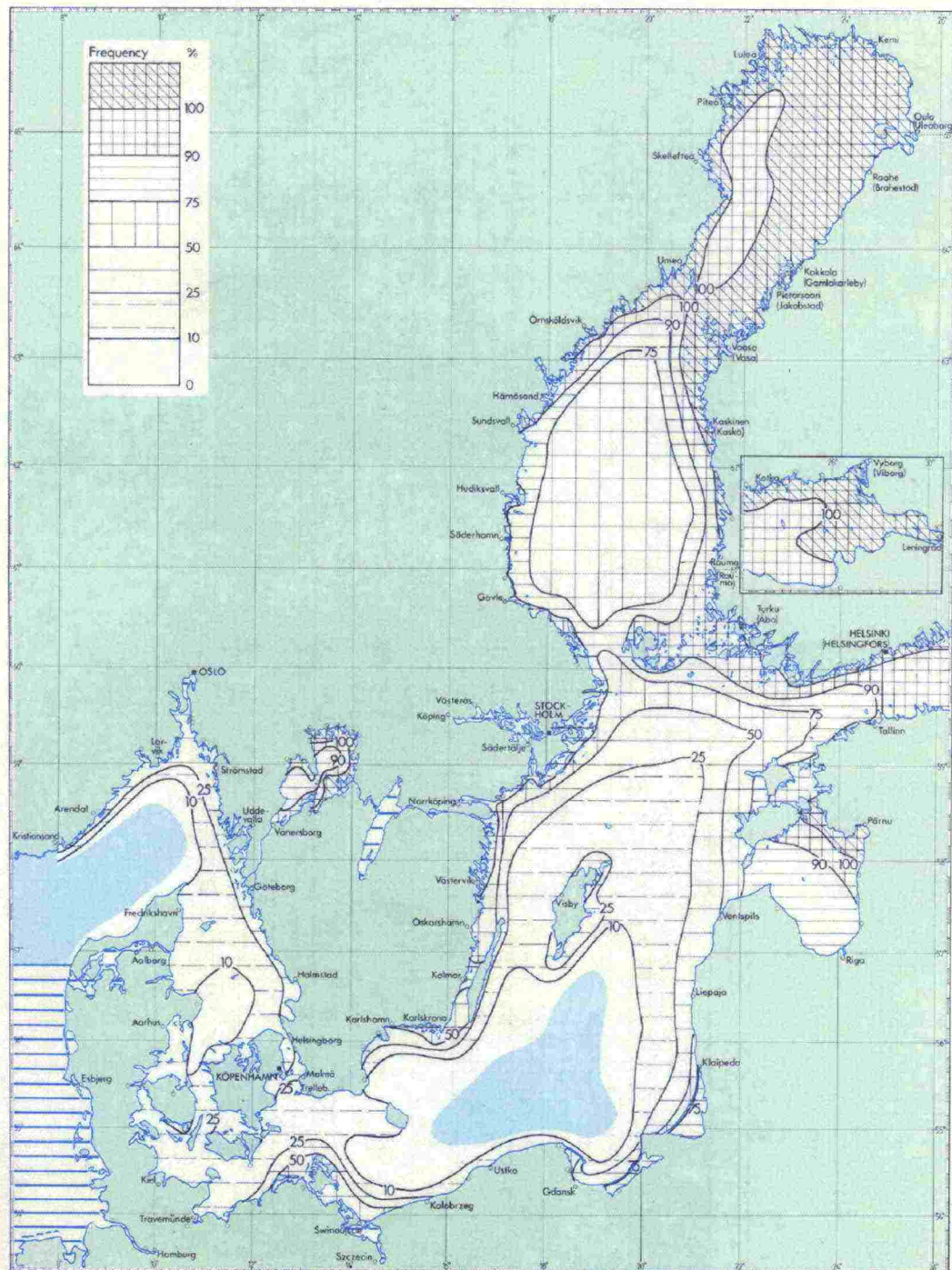
Talvi 1987
Profiili: NAH-BO

Päivämäärä	1/11	11/11	21/11	1/12	11/12	21/12	1/1	11/1	21/1	1/2	11/2	21/2	1/3	11/3	21/3
Jään paksuus (cm)	0	0	0	0	0	5	20	30	30	45	10	45	30	60	60
Jään Peittoisuus (%)	0	0	0	0	0	98	95	95	98	98	50	98	90	90	90
Vallintumisaste	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.25	0.75	0.25	0.25
Vallitheyys (1/km)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.45	0.9	1.5	1.5
Vallikorkeus (cm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	45	75	75

Esimerkki yhden väyläosan jäätiedoista kaikille simuloinnin ajanjaksoille.

Ice frequency
Isfrekvens
Jään esiintymistodennäköisyys

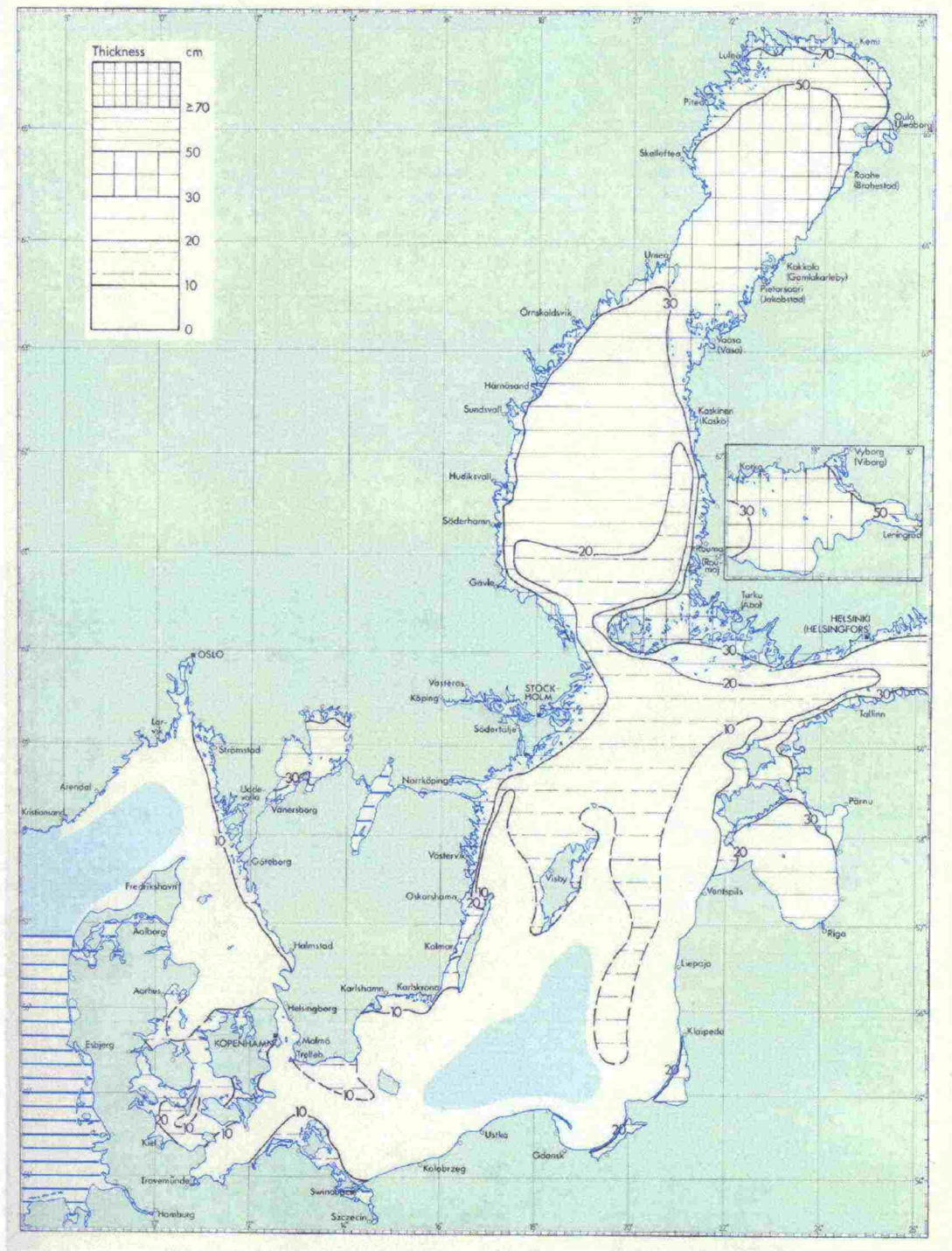
March 1



Jään esiintymistodennäköisyys. 50% raja edustaa keskimääräistä talvea.

Level ice thickness
Flaktjocklek
Jään paksuus

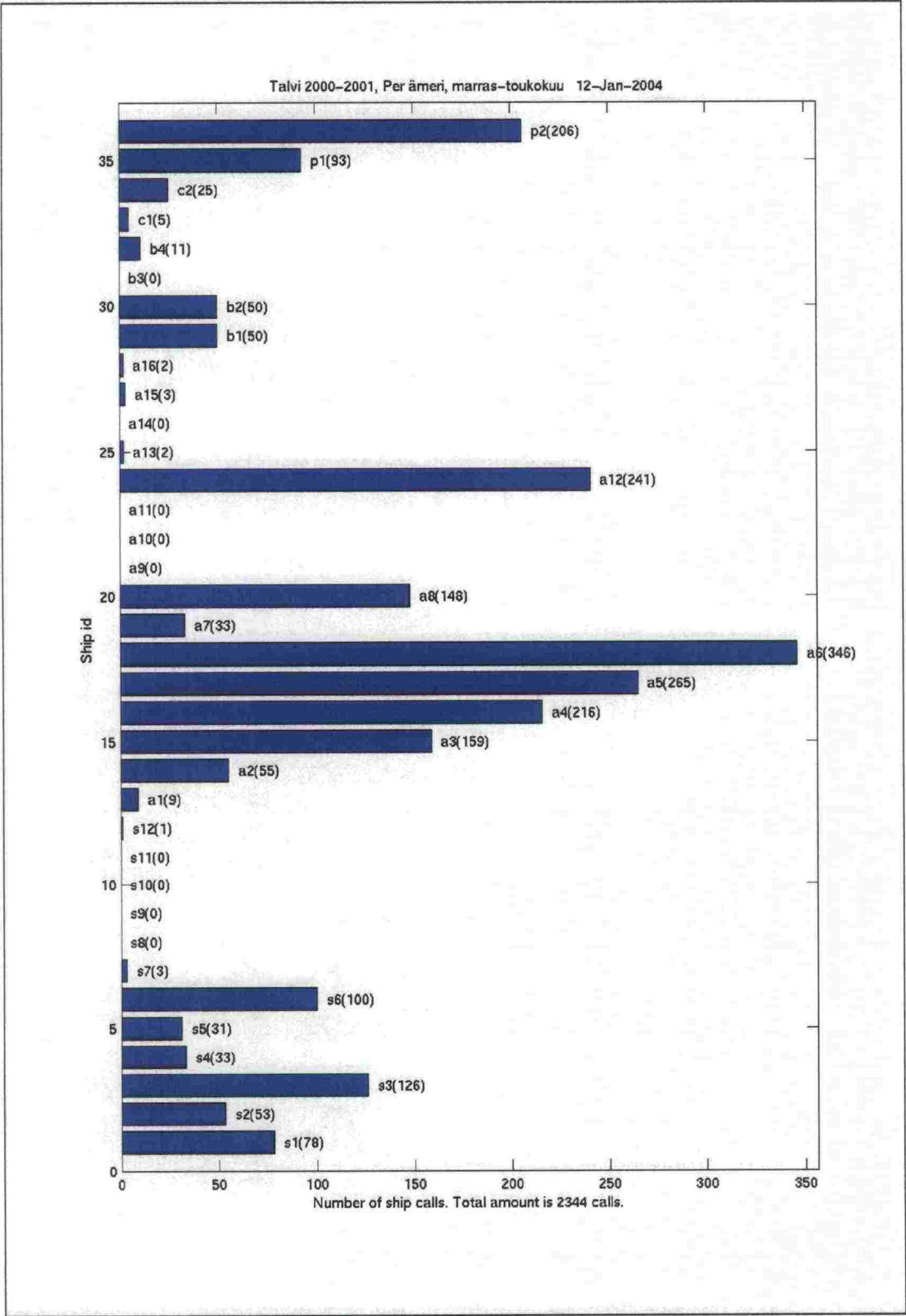
March 1

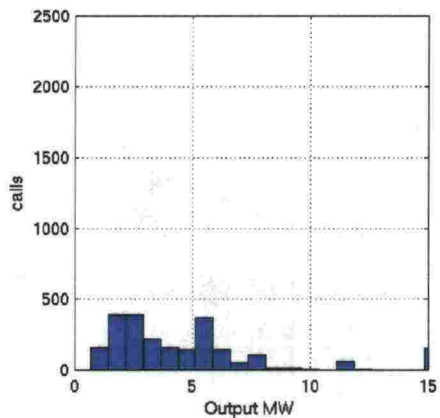
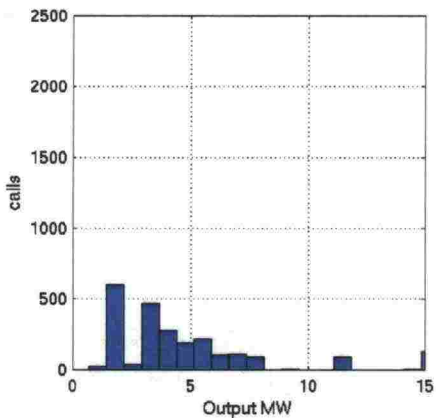
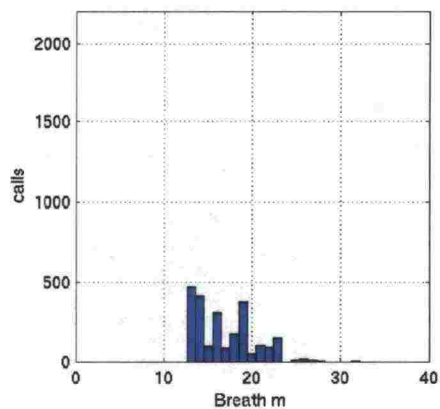
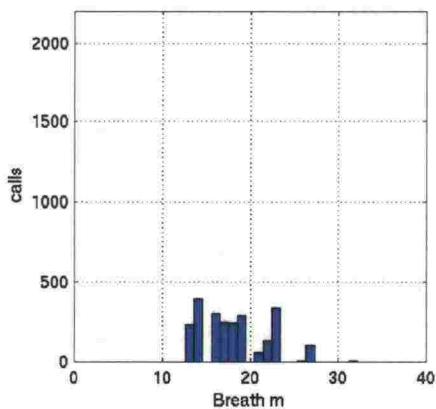
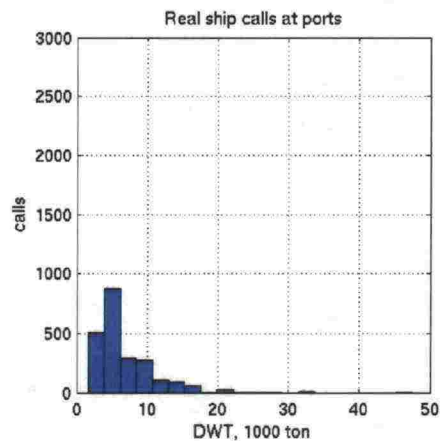
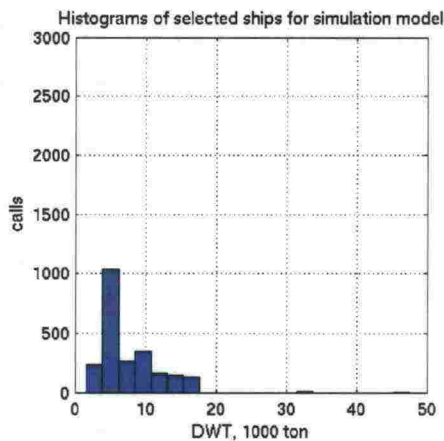


Jään paksuus keskimäärin talvella maaliskuun 1. päivä.

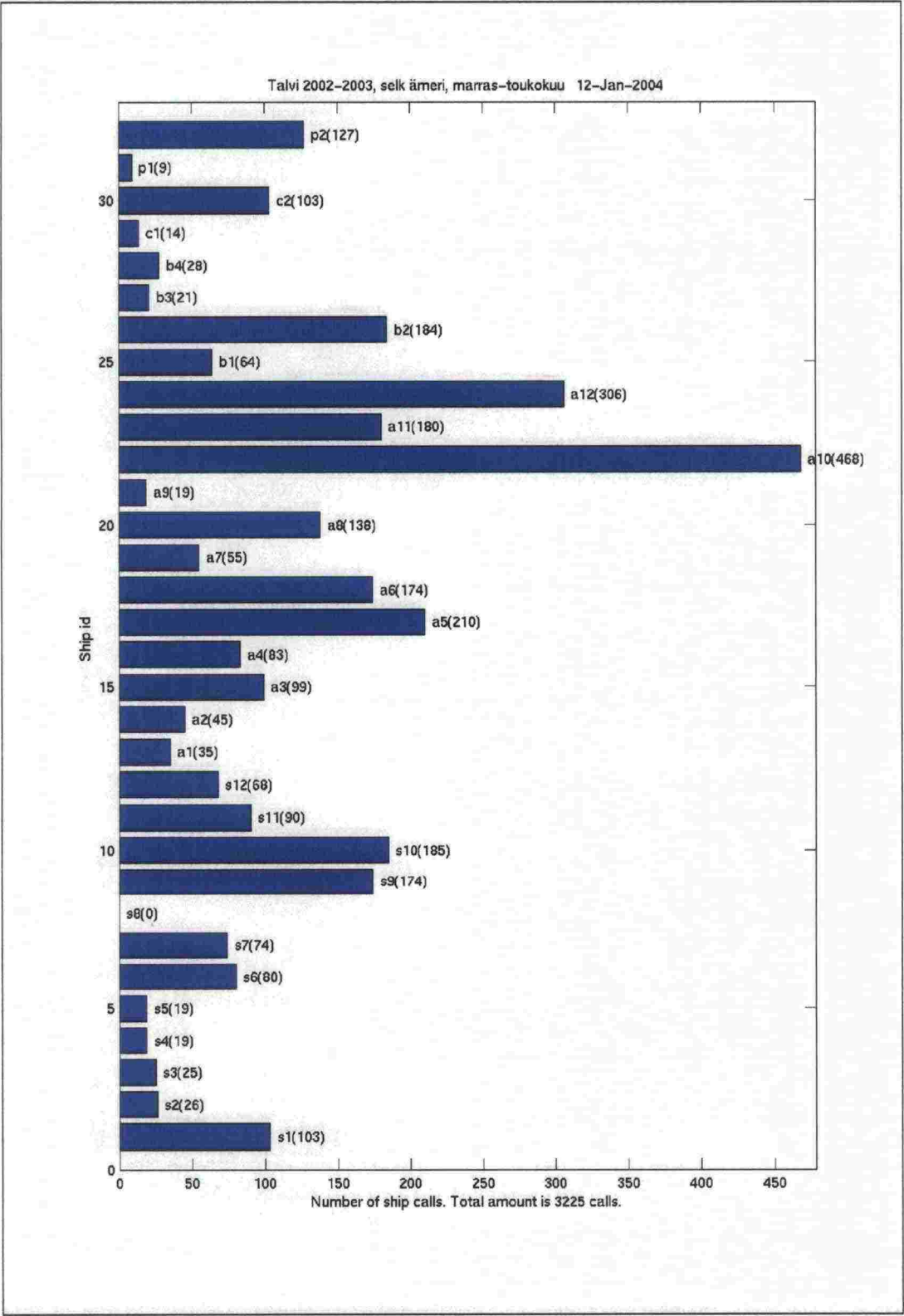
Valitut tyyppilaivat ja niiden tärkeimmät parametrit.

Koodi	Jääluokka	Brutto ton	Netto ton	DWT ton	Lwl m	Bwl m	Tdwl m	Nopeus solmua	Koneisto kW	Teho kW
s1	1ASuper	11290	4937	16420	164.44	22.2	9.5	14.5	2*5737	11474
s2	1ASuper	12691	4664	14467		21	9.13	14	7282	7282
s3	1ASuper	12251	3676	8843	154.5	22.7	6.95	20	15600	15600
s4	1ASuper	5582	2257	8145		17.5	8.23	14.8	4119	4119
s5	1ASuper	6395	2864	7850	131.6	19.35	7	14.9	4690	4690
s6	1ASuper	6620	1986	5405	122	19	6.16	16.5	5921	5921
s7	1ASuper	3686	1106	3683	95.81	16.5	5.2	13.7	2809	2809
s8	1ASuper	34414	19646	4150	156.5	27.6	6.6	22	4*6602	21600
s9	1ASuper	14297	4290	4995	137.3	24.52	6.12	19.3	2*5149	10298
s10	1ASuper	20729	6378	10140	189.7	22	6.5	18.9	2*8145	16290
s11	1ASuper	17864	5360	8970		21.6	6.32	17	4*3680	14720
s12	1ASuper	10572	3172	7630	138.75	22.65	7.07	20	14480	14480
	Jääluokka	Brutto	Netto	DWT	Lwl	Bwl	Tdwl	Nopeus	Koneisto	Teho
a1	1A	22157	8934	31900	185.86	26.5	11.04	15.5	11136	11136
a2	1A	9960	5019	16028	142.2	22	8.8	14.5	7200	7200
a3	1A	7764	4374	10935		18.5	7.53	14.5	4413	4413
a4	1A	6540	3464	9200	135	17	7	17	5280	5280
a5	1A	3826	2013	4402	105	16	6	15	2960	2960
a6	1A	2774	1548	4180	89.8	13.7	5.69	13	1750	1750
a7	1A	3244	1554	4130	100	16	5	13	2880	2880
a8	1A	1999	1203	3005	82	12.6	4.9	11.5	1641	1641
a9	1A	10542	4332	1410	128.25	19.7	5	18.5	8828	8828
a10	1A	25996	7799	6124	168	27.7	6	21	14700	14700
a11	1A	6040	1812	2607	109.5	20.4	4.95	16.5	2*2942	5884
a12	1A	3999	2176	5215	101.08	18.45	6.55	15.5	3825	3825
a13	1A	6136	1842	3937	118.42	16.06	5.95	14	2*3310	6620
a14	1A	29841	8953	8681	188.3	29.3	6.5	22	4*5760	23040
a15	1A	20169	6050	12700	165.16	25.94	7.75	16.5	2*7797	15594
a16	1A	15396	4656	8672	155.99	22.97	7.32	17	2*5738	11476
	Jääluokka	Brutto	Netto	DWT	Lwl	Bwl	Tdwl	Nopeus	Koneisto	Teho
b1	1B	2735	1587	4263	89.56	13.17	5.68	11.7	1499	1499
b2	1B	1854	1156	2900	79.99	13.75	5.4	12	1464	1464
b3	1B	13788	4120	3034	158.35	22.6	5.55	18 3560+2*	2670	12460
b4	1B	2319	1034	3180	89.5	13.42	4.51	11.75	1801	1801
	Jääluokka	Brutto	Netto	DWT	Lwl	Bwl	Tdwl	Nopeus	Koneisto	Teho
c1	1C	28330	14802	47442	189.01	32.2	11.68	15	9267	9267
c2	1C	1689	716	1600	71.4	12.88	3.76	10	682	682
	Jääluokka	Brutto	Netto	DWT	Lwl	Bwl	Tdwl	Nopeus	Koneisto	Teho
p1	1ASuper	9066	2720	14000	167	27.2	6.7	13.4		7680
p2	1A	5156	1550	8212	130	24	5	14		2340

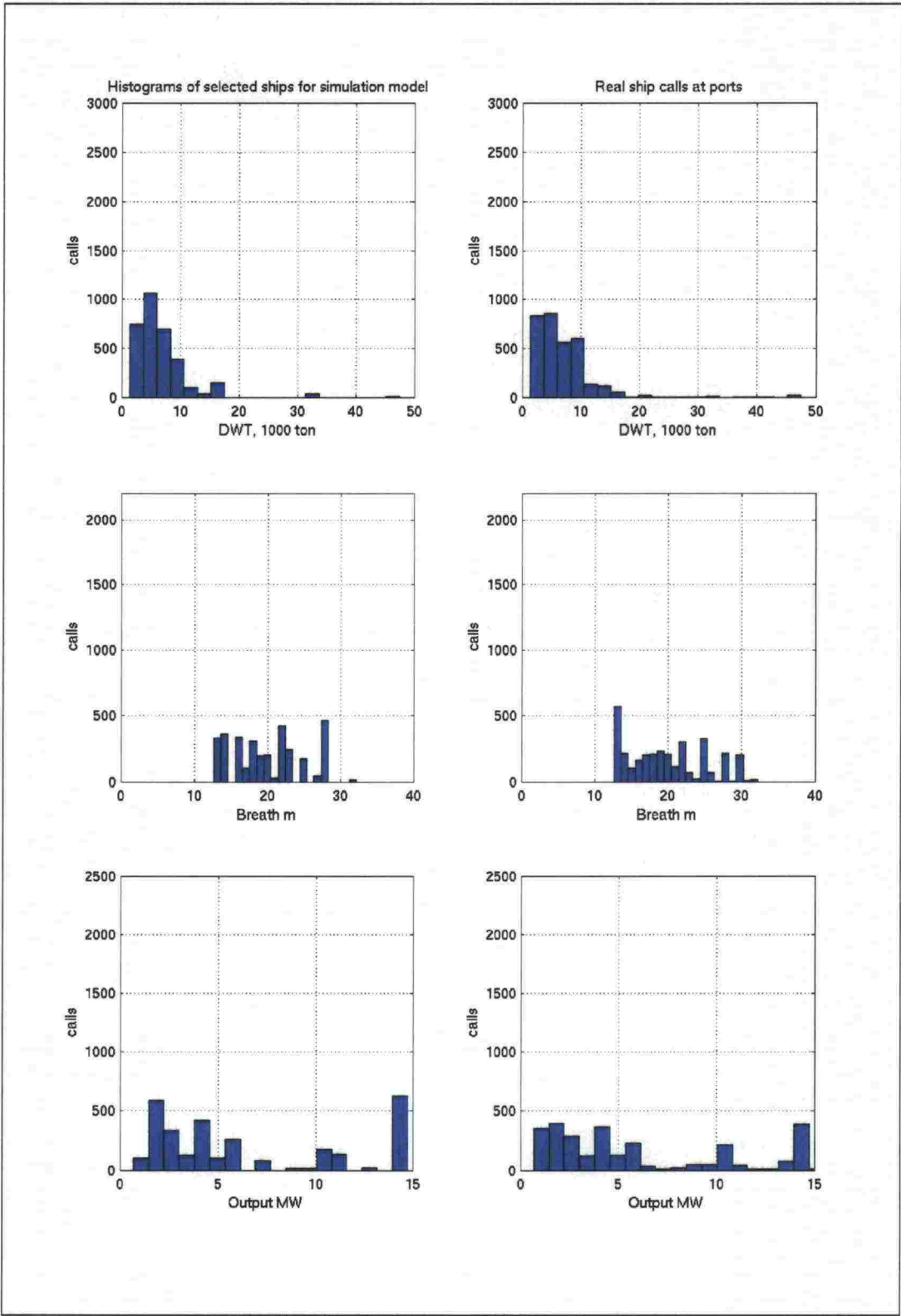




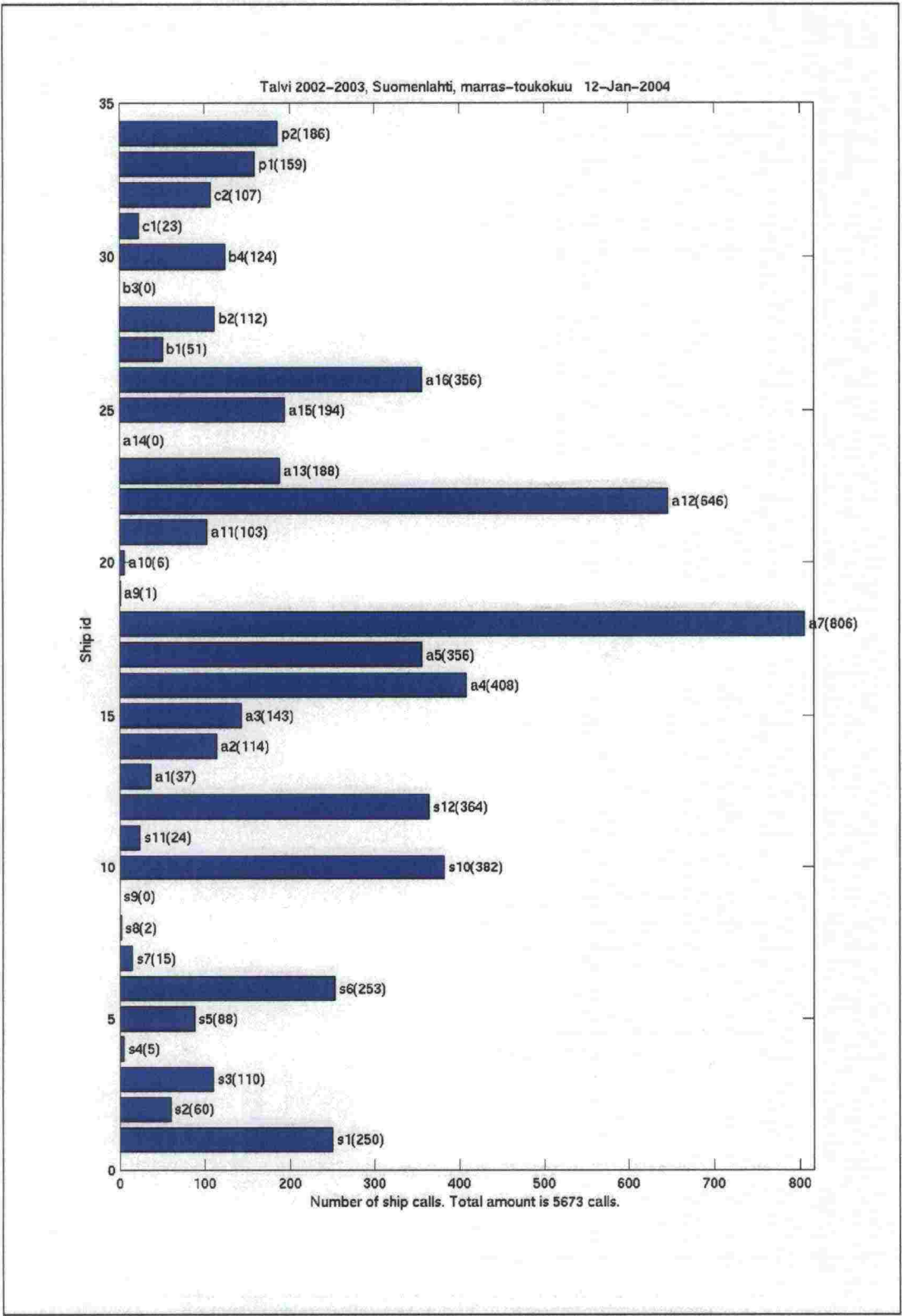
Perämeren mallin valittujen tyyppilaivojen histogrammit



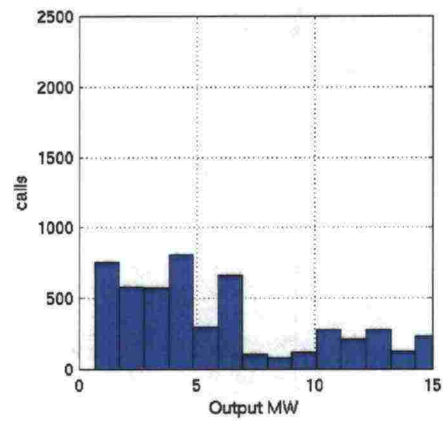
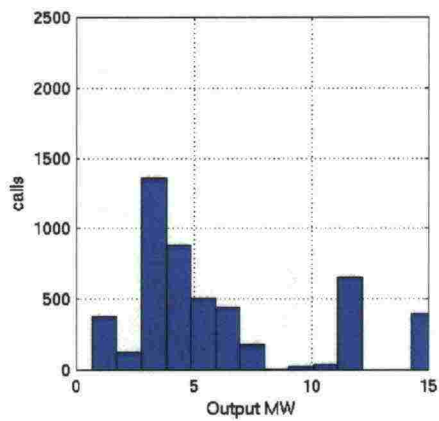
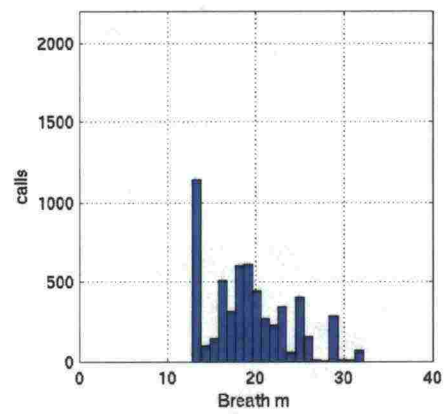
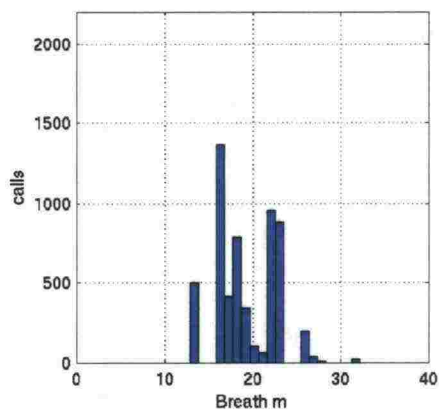
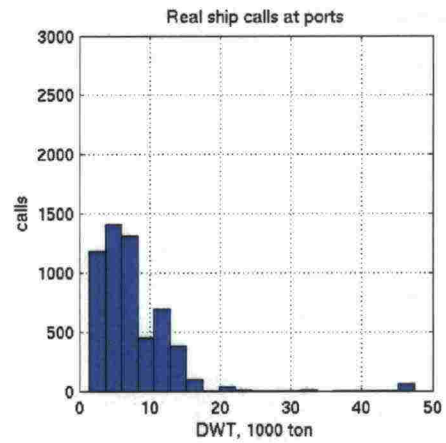
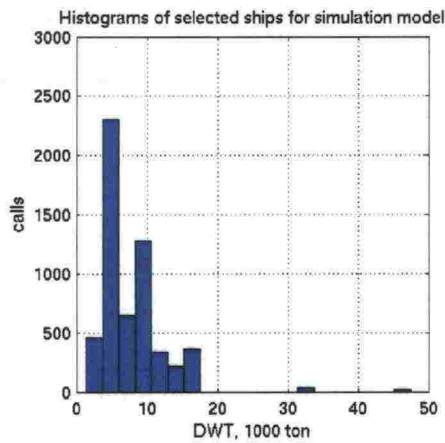
Valitut tyyppilaivat Selkämeren malliin.



Selkämeren mallin valittujen tyyppilaivojen histogrammit.



Valitut tyyppiläivät Suomenlahden malliin.



Suomenlahden mallin valittujen tyyppilaivojen histogrammit.

JÄÄNMURTAJA-AVUSTEINEN MERILIIKENTEEN SIMULOINTIMALLI (PERÄMERI)

